BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Populäre Naturlehre

mit besonderer Rücksicht auf die

Chemie und verwandten Wissenschaften.

Von

M. Becquerel,

Mitglied der Akademie und erster Professor am naturgeschichtlichen Museum in Paris, Mitglied der königl. Societät in London, der Akademie in Berlin und vieler gelehrten Gesellschaften.

In neun Theilen,

mit einer Menge von Abbildungen.

Aus dem Französischen

von

Professor G. Kißling.

Vierter Theil.

Mit Tafel VI.

Herausgegeben von der „Gesellschaft zur Verbreitung guter und wohlfeiler Bücher."

Stuttgart, 1845.

Verlag von Scheible, Rieger & Sattler.

(Preis pro Theil 18 kr. oder $4^1/_2$ ggr.)

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Viertes Kapitel.

Von der Elektricitätsentwicklung bei chemischen Wirkungen.

Wir haben als Grundsatz aufgestellt, daß jedesmal wenn die Moleküle der Körper aus irgend einer Ursache ihre Gleichgewichtslage verlieren, Elektricitätsentwicklung stattfinde; wir haben es bewiesen, wenn sie durch mechanische Wirkungen erschüttert, getrennt werden; es handelt sich jetzt davon, zu zeigen, daß es sich eben so verhalte, wenn sich die Elemente der Körper trennen oder vereinigen, um neue Verbindungen zu bilden. Die folgenden Versuche werden in dieser Hinsicht keinen Zweifel übrig lassen. Wir wollen nach der Reihe die Elektricitätsentwicklung untersuchen: 1) in der Reaktion der Auflösungen auf einander; 2) in der Reaktion der Säuren oder salzigen Auflösungen auf die Metalle; 3) in der Reaktion zweier verschiedener Metalle auf einen oder mehrere liquide Körper; 4) in der Verbrennung; 5) in der chemischen Zersetzung; 6) in der Zersetzung des Wassers, das durch verschiedene Körper oxydirt ist; 7) in den Auflösungen im Allgemeinen; 8) in der chemischen Wirkung des Lichts, und endlich 9) in den Kapillar-Erscheinungen.

Die Elektricitätsentwicklung bei den chemischen Reaktionen ist lange Zeit ein Gegenstand des Streites zwischen den Physikern und Chemikern gewesen, weil die Mittel zum Experimentiren fehlten, um diese

Thatsache augenscheinlich zu machen und besonders um die Gesetze derselben kennen zu lehren; Oerstedt's Entdeckung aber hat uns solche Mittel zur Verfügung überlassen, daß wir in unsern Tagen diese Frage vollständig lösen können. Mit Uebergehung der mehr oder weniger unfruchtbaren Versuche, welche zu ihrer Lösung zu gelangen, angestellt worden waren, wollen wir uns sogleich an die allgemeinen Thatsachen machen.

Wir wollen zuerst einige Beispiele der Elektricitätsentwicklung in den chemischen Rückwirkungen angeben, um sogleich einen deutlichen Begriff davon zu erhalten.

Erstes Beispiel. Wenn man die beiden Enden des Kupferdrahts eines Multiplikators eines nach dem andern in gewöhnliche Salpetersäure taucht, so hat man sogleich einen elektrischen Strom, welcher auf die Magnetnadel so reagirt, daß das zuerst eingetauchte Ende der Flüssigkeit die positive Elektricität entzieht. Diese Erscheinung rührt von der Verschiedenheit der chemischen Wirkungen, welche die Säure auf die Drahtende ausübte, her, eine Verschiedenheit zum Vortheile des zuletzt eingetauchten Endes, das am meisten angegriffen ist, weil seine Oberfläche mit einer Schichte Oxyd überzogen wird. Sobald also eine Säure auf ein Metall reagirt, so entwickelt dieses negative Elektricität, und die Säure positive. Bei der Darstellung der thermo-elektrischen Erscheinungen werden wir beweisen, daß die Wärme-Entwicklung bei der chemischen Reaktion durchaus nicht die Ursache des Phänomens ist.

Zweites Beispiel. Man tauche in reine Salpetersäure zwei Ende von zwei Golddrähten mit ganz geeigneter Oberfläche, die mit den beiden anderen Enden mit den Endpunkten des Drahtes eines Multiplikators in Verbindung stehen, und es wird sich keine Erscheinung zeigen; thut man aber eine sehr geringe Menge Salzsäure nahe an dem eingetauchten Ende

des einen der beiden Endpunkte hinzu, so zeigt die Magnetnadel sogleich durch ihre Abweichung die Erzeugung eines elektrischen Stromes an; das angegriffene Ende entzieht der Säure die negative Elektricität und gibt ihr die positive. Ersetzt man einen der Golddrähte durch einen Platinadraht, so sind die Erscheinungen dieselben, d. h. es findet nur in so weit eine Stromerzeugung Statt, als man Salzsäure hinzuthut, und das angegriffene Ende nimmt abermals die negative Elektricität an. Dieser Versuch setzt die Grundthatsache außer Zweifel, daß, wenn eine Säure auf ein Metall reagirt, die Säure die positive, das Metall die negative Elektricität annehme. Obschon die erzeugte Erscheinung einfach zu sein scheint, so ist sie doch complizirt, wie man bald sehen wird; um sie aber vollkommen zu analysiren, wollen wir die elektrischen Erscheinungen vortragen, die bei der Rückwirkung der Auflösungen auf einander vorkommen.

Elektrische Erscheinungen, die bei der Reaktion der Auflösungen auf einander vorkommen.

Wenn ein Metall von irgend einer Flüssigkeit angegriffen wird, so findet immer Wärmeerzeugung, die Bildung einer Mischung, Statt, welche eine Reaktion auf die umgebende Mischung, während diese bewerkstelligt wird, ausübt. Dies sind zwei Ursachen, welche das Gleichgewicht der elektrischen Kräfte stören: für den Augenblick wollen wir uns mit der letzteren beschäftigen und mit der Untersuchung der elektrischen Erscheinungen anfangen, welche bei der Verbindung einer Säure und eines Alkali, wenn sich beide im liquiden Zustande befinden, erzeugt werden. Man nimmt zwei Schalen aus Porzellan, in die eine gießt man eine Kalilösung und in die andere Salpetersäure; in jede dieser Lösungen taucht man eine Platinaplatte,

die man mit dem einen von den Enden des Drahtes eines Multiplikators in Verbindung bringt, und eben so bringt man die beiden Flüssigkeiten vermittelst eines baumwollenen Dochtes in Verbindung; in dem Augenblicke, wo man die Kette schließt, erleidet die Magnetadel eine starke Abweichung und zeigt eine beträchtliche Elektricitätsentwicklung an; die Richtung des Stroms gibt an, daß die Säure die positive und das Alkali die negative Elektricität angenommen habe. Will man kräftigere Wirkungen haben, so operirt man auf folgende Weise; man nimmt einen Platinalöffel und ein Zängchen aus demselben Metalle, das man mit dem Multiplikator in Verbindung bringt; man füllt den Löffel mit Säure und befestigt zwischen den Aermen des Zängchens ein Stück Kali; in dem Augenblicke, wo man dieses letztere in die Säure taucht, erhält man einen sehr starken Strom, dessen Richtung ganz die vorhergehende ist; diese Art zu experimentiren, so wie die vorhergehenden, ist nicht ganz gegen die Einwürfe der Physiker geschützt, welche elektrische Erscheinungen des Contakts unabhängig von den chemischen Reaktionen annehmen. Um diese Einwürfe zu vermeiden, verfährt man folgendermaßen: man nimmt zwei Kapseln von Platina, welche mit Salpetersäure angefüllt und mit einem langdrahtigen Multiplikator mit zwei Platinlamellen in Verbindung gebracht sind; man stellt die beiden Kapseln in eine Entfernung von einem Decimeter von einander und ringt sie mit einem mit Wasser gedrängten und in der Mitte gehörig unterstützten baumwollenen Dochte in Verbindung; dieser Docht widersetzt sich wegen seiner Länge und der Differenz des specifischen Gewichtes der beiden Flüssigkeiten lange ihrer Wiedervereinigung; gegen die Mitte hin bringt man einen Tropfen Säure und einen Tropfen Kalilösung sachte neben einander. So lange als die beiden Tropfen getrennt sind, zeigt sich keine Erscheinung; in dem Augenblicke aber, wo ihre

Vereinigung vor sich geht, wird ein elektrischer Strom erzeugt, welcher anzeigt, daß die Säure positive und das Kali negative Elektricität frei werden ließ, wie in den vorhergehenden Versuchen; in diesem Falle kann man die hervorgebrachte Erscheinung dem Contakte des Platins einerseits mit der Säure andererseits mit dem Kali zuschreiben, weil das Platin auf jeder Seite mit der Salpetersäure in Berührung steht, substituirt man der Säure und dem Kali andere Flüssigkeiten, so erhält man folgende Resultate:

Die Salpetersäure ist positiv mit	der Salzsäure " Essigsäure " salpetrigen Säure den alkalinischen Auflösungen " salpetersauren " " schwefelsauren " " neutralen Chlorürauflös.
Die Salpetersäure ist negativ mit	der Schwefelsäure " Phosphorsäure
Die Phosphorsäure ist positiv mit	der Salzsäure " Schwefelsäure den alkalinischen, salzigen Auflösungen u. s. w.

Man sieht, daß die Phosphorsäure unter allen Flüssigkeiten am meisten positiv ist; da nun der Contakt der Salpetersäure mit der Auflösung von salpetersaurem Kupfer und im Allgemeinen die Reaktion einer Säure mit einer von diesen Auflösungen nur als Auflösungen betrachtet werden dürfen, so muß man daraus schließen, daß diese elektrische Erscheinungen hervorbringen, welche denen, die bei den Verbindungen stattfinden, analog sind.

Um die elektrischen Erscheinungen zu beobachten, welche in der Reaktion der Säuren und der Alkalien auf das Wasser und der neutralen Auflösungen auf einander hervorgebracht werden, verfährt man auf

die folgende Weise: ist die Säure fest, so befestigt man ein Stück derselben zwischen die Aerme eines Platinazängchens und taucht sie in das in dem Löffel enthaltene Wasser; ist sie flüssig, so taucht man zuerst einen Platinaschwamm in Verbindung mit einem Multiplikator in die saure Auflösung; man findet alsdann, daß sich das Wasser wie ein Alkali verhält; bei den alkalinischen Auflösungen sind die Erscheinungen umgekehrt. Man zieht daraus den Schluß, daß sich das Wasser bei seiner Vereinigung mit einer Säure, wie ein Alkali verhalte, und daß es hingegen die Rolle einer Säure in seiner Reaktion auf die Alkalien spiele.

Was die neutralen Salze anbetrifft, so kann man nur auf Lösungen in verschiedenen Graden der Concentrirung operiren, denn im festen Zustande sind sie keine Leiter. Der Versuch beweist, daß bei neutralen Lösungen, diejenigen, welche in Beziehung auf die elektrischen Erscheinungen am meisten concentrirt sind, sich in Beziehung auf die, welche es am wenigsten sind, wie die Säuren in ihren Verbindungen mit den Alkalien verhalten. Die doppelten Zersetzungen, welche bei der Reaktion von zwei Lösungen neutraler Salze bewirkt werden, veranlassen keine elektrische Erscheinung; die Experimentirungsweise ist der vorhergehenden ähnlich, daher werden wir uns nicht bei derselben verweilen. Diese Thatsache beweist, daß bei den doppelten Zersetzungen vollständige Neutralisirung der beiden entwickelten Elektricitäten stattfinde. Es ist einerseits nothwendig, daß die beiden Lösungen vollkommen neutral seien, denn der Ueberschuß an Säure oder Alkali der einen derselben, würde bei seiner Rückwirkung auf das Wasser der andern, zu elektrischen Erscheinungen Veranlassung geben, und andererseits, daß die beiden Lösungen gleiche atomische Quantitäten der beiden Salze enthalten.

Wenn eine Kalilösung und eine Säure vermittelst

einer geknieten, mit Wasser angefüllten Röhre in Verbindung stehen, so findet Reaktion der Säure und des Alkali auf das Wasser Statt, woraus elektrische Erscheinungen entspringen, welche nach der nämlichen Richtung hingehen, wie wenn die Säure unmittelbar auf das Alkali wirkte, und welche addirt werden müssen, wenn die beiden Lösungen vermittelst eines Platinadrathes mit einander in Verbindung stehen.

Wir haben so eben gesehen, daß die Auflösungen bei ihrer Reaktion auf einander elektrische Erscheinungen veranlassen, die denjenigen ähnlich sind, die man bei den Verbindungen beobachtet; wir müssen jetzt zeigen, wie man an diesen Erscheinungen erkennen könne, ob bloß Verbindung oder Lösung stattfinde, was in der Chemie nicht immer leicht ist, wenn die Reaktionen so schwach sind, daß so kleine Mengen von Mischungen daraus entstehen, daß es unmöglich ist, das Dasein derselben nachzuweisen, oder auch wohl, wenn sehr schwache Temperaturverschiedenheiten vorfallen. Zu dem Ende operirt man nach Peltier auf folgende Weise: der vollständige Apparat besteht aus zwei Multiplikatoren, aus einer thermoelektrischen Säule und aus zwei Platinkapseln. Man nimmt eine davon und bringt sie mit dem einen von den Enden des Drathes eines Multiplikators mit langem Drahte in Verbindung, sodann einen thermo-elektrischen Dreifuß, der aus drei Paaren, Wismuth und Antimon, besteht, dessen untere Extremitäten von geradem oder ungeradem Range sind, damit sie, wenn sie zu gleicher Zeit erhitzt oder abgekühlt werden, Ströme erzeugen, welche nach der nämlichen Richtung gehen; man stellt die zweite Kapsel, welche mit dem anderen Ende des Drahtes des Multiplikators in Verbindung steht, auf den Dreifuß oder die thermo-elektrische Säule, welche mit einem kurzdrahtigen Multiplikator in Verbindung steht, und verbindie die beiden Kapseln vermittelst eines Dochtes aus

Baumwolle oder Asbest. Man gießt in jede Kapsel eine Auflösung und die beiden Auflösungen wirken durch Vermittlung des Dochtes aus Asbest oder Baumwolle auf einander. Wenn eine Verbindung stattfindet, so erhitzen sich die beiden Kapseln, die, welche auf dem Dreifuße steht, theilt ihm von der Wärme mit, die sie erhalten hat, welche sogleich durch die Nadel des thermo-elektrischen Multiplikators angezeigt wird. Findet bloß eine Lösung Statt, so erzeugt das Sinken der Temperatur der Kapsel einen thermo-elektrischen Strom, der eine umgekehrte Richtung mit dem vorhergehenden hat, so daß die Richtung des thermo-elektrischen Stromes hinreichend ist, um anzuzeigen, wenn Verbindung oder Lösung eintritt, selbst wenn die Temperaturverschiedenheiten, welche daraus entspringen würden, außerordentlich schwach sein, und Thermometer von einer großen Empfindlichkeit verlangen sollten, um bestimmt zu werden. Wir geben auf dem folgenden Blatte die Tabelle über die Resultate, welche Peltier über die Richtung des Stromes, über die in den Reaktionen des Wassers, der Säuen oder der sauren, neutralen oder alkalinischen Salze oder verschiedener Substanzen erhalten hat, so daß man unmittelbar sehen kann, wenn Verbindung oder Lösung stattfindet.

Die in dieser Tabelle angegebenen Resultate zeigen an, daß die sauren, neutralen oder alkalinischen Lösungen in Beziehung auf die Intensität der elektrischen Erscheinungen, welche in ihrer Rückwirkung hervorgebracht werden und auf die entwickelte Wärme in drei Klassen eingetheilt werden können. Die erste begreift die Körper, welche bei ihrer Verbindung oder bei ihrer Lösung keine oder nur schwache Spuren von Elektricität zeigen. Diese Erscheinungen können davon, daß die Flüssigkeiten keine guten Leiter sind oder von noch nicht wahrgenommenen Ursachen herrühren; aber eben diese Körper sind genau

diejenigen, welche das größte Sinken in der Temperatur veranlassen. Die zweite Klasse begreift diejenigen Körper, welche Erscheinungen geben, welche die durch ihre Auflösung hervorgebrachte Abkühlung verringern oder neutralisiren. In der dritten befinden sich die Körper, welche bei ihrer Verbindung Wärme genug entwickeln, um die Temperatur der Flüssigkeit zu erhöhen. Das salpetersaure Ammoniak gehört zu der ersten, die Lösung von Jod- und Chlorblei zu der zweiten, die Schwefel- und Salpetersäure zu der dritten Klasse. Zwar können die in Frage stehenden Wärmeerscheinungen die meiste Zeit vermittelst sehr empfindlicher Thermometer mit kleinem Behälter erkannt werden; ein Thermometer ist aber nie so empfindlich, um augenblickliche Wirkungen, wenn sie sehr schwach sind, anzuzeigen. In diesem Falle kann man nur zu den thermo-elektrischen Strömen seine Zuflucht nehmen.

Nachdem wir nun mit hinreichender Ausführlichkeit alles vorgetragen haben, was die elektrischen Erscheinungen betrifft, die bei der Reaktion der Auflösungen auf einander vorkommen, so daß man die Gesetze, nach welchen sie sich richten, daraus ableiten kann, so wollen wir eben diese Erscheinungen in der Reaktion der Säuren und der salzigen Auflösungen überhaupt auf die Metalle untersuchen. Wir wollen den schon S. 4 erwähnten Versuch wieder vornehmen. Es seien zwei Kapseln A und B mit Salpetersäure angefüllt und stehen vermittelst eines Dochtes aus Asbest miteinander in Verbindung; wenn man nun zwei Goldplättchen nimmt, jedes derselben an einem Ende mit einer von den Extremitäten eines Multiplikator-Drahtes in Verbindung bringt, und jedes der beiden freien Ende in eine Kapsel taucht, so findet niemals eine elektrische Erscheinung Statt, wenn die Oberflächen sorgfältig in destillirtem Wasser gewaschen wurden, um die fremdartigen

Namen der Substanzen.	Richtung des Stroms von dem Wasser gegen die Substanz.	Temperatur in Graden drs Multiplikators.	Klassifizirung der Körper, aus dem Gesichtspunkte der Rolle, die sie in den Verbindungen spielen.
Schwefelsäure	Ein einziger Tropfen gibt 90° +	Wärme Maxim. 90°	Säure oder —
Salpetersäure	Fünf Tropfen 70° +	Wärme 70°	ditto —
Essigsäure	1/4 Säure 30° +	ditto 10°	ditto —
Borsäure	Schwacher Strom 5° +	Kälte 50°	ditto —
Chlorantimon	″ 35° +	Wärme 60°	ditto —
Salpetersaures Wismuth . .	″ 35° +	Kälte 50°	ditto —
Schwefelsaures Kupfer . .	″ 30° +	ditto 10°	ditto —
Jodauflösung	″ 20° +	0	ditto —
Essigsaures Blei	″ 10° +	Kälte 20°	ditto —
Schwefelsaures Zink . . .	″ 5° +	ditto 60°	ditto —
Chlorstrontium	″ 10° +	0	ditto —
Chlorblei	0 im Kalten; im Warmen 5° +	Sehr schwache Kälte 2°	ditto —
Warme Lösung salpetersauren Ammoniaks	″ 5° +	0	ditto —
Gewöhnlicher Zucker . . .	″ 5° +	Kälte 10°	ditto —
Alkohol	″ 5° +	Wärme 40°	ditto —
Schwelfelsäure	1/3 Säure ″ 30° —	ditto 5°	Alkali oder +
Salzsäure	idem ″ 30° —	ditto 50°	ditto +
Citronsäure	Aeußerst schwach 2°	Kälte 40°	ditto +
Weinsteinsäure	″ id.	ditto 15°	ditto +

Benzoe-Säure	″	ditto	ditto	5°	ditto	+
Oxal-Säure	″	ditto	ditto	50°	ditto	+
Kali	″	80° —	Wärme	70°	ditto	+
Natron	″	ditto	ditto	ditto	ditto	+
Kalk	″	30° —	ditto	70°	ditto	+
Einfach kohlensaures Kali . .	″	30° —	Kälte	70°	ditto	+
Jodkalium	″	20° —	ditto	80°	ditto	+
Salpetersaures Kali . . .	″	10° —	ditto	ditto	ditto	+
Schwefelsaures Kali . . .	″	5° —	ditto,	45°	ditto	+
Saures oxalsaures Kali . .	6° im Kalten, im Warmen	5° —		0	ditto	+
Salzsaures Ammoniak . . .	″	4° —	Kälte	80°	ditto	+
Salpetersaures Ammoniak . .	″	3° —	ditto	90°	ditto	+
Ammoniakalaun	″	4° —	ditto	5°	ditto	+
Cyankalium	″	30° —	ditto	30°	ditto	+
Chlornatriumhydrat . . .	″	30° —	ditto	60°	ditto	+

anhängenden Körper wegzuschaffen; gießt man aber in die Kapsel A einige Tropfen Chlorgold neben das eintauchende Plättchen, so wird die Magnetnadel augenblicklich stark und nach einer solchen Richtung zum Abweichen gebracht, daß das Ende A in Beziehung auf die Flüssigkeit negativ wird; wenn man statt der Auflösung einige Tropfen Salzsäure hingießt, so ist die Wirkung die nämliche. Im ersten Falle rührt die Erscheinung von der Rückwirkung der Salpetersäure auf das Chlorgold, im zweiten von der Rückwirkung des Königswassers auf das Gold und von der Reaktion der mit der Salpetersäure gebildeten Auflösung her. Diese beiden Ursachen veranlassen eine Elektricitätsentwicklung in derselben Richtung, weil die Goldauflösung in Beziehung auf die Säure negativ ist; man darf also nicht zweifeln, daß die Reaktion der beiden Flüssigkeiten einen Einfluß auf die elektrischen Erscheinungen ausübe, welche bei der Rückwirkung des Königswassers auf das Gold beobachtet wurden. Dieser Versuch zeigt, wie schwer es ist, die Entwicklung der Elektricität in dem Verbindungsakte selbst eines Metalls mit einer Säure, abgesehen von der Rückwirkung der Auflösung, die sich an der umgebenden Flüssigkeit bildet, zu bestimmen. Man bringt es demungeachtet auf folgende Weise dahin:

Man füllt zwei Kapseln A und A′ mit einer Auflösung von salpetersaurem Kupfer, die man vermittelst eines Cocondochtes in Verbindung setzt und taucht in jede derselben das Ende einer vollkommen gereinigten Kupferplatte, deren anderes mit einem Multiplikator in Verbindung steht; es zeigt sich keine elektrische Erscheinung; gießt man aber einen Tropfen Salpetersäure in die Flüssigkeit der Kapsel A, so wird das Kupfer, welches in dieselbe eintaucht, stark negativ. In diesem Falle hat man wohl die elektrische Erscheinung, welche aus der Rückwirkung des

Metalls auf die Säure entsteht; denn der in der Rückwirkung der Auflösung erzeugte Strom, der sich an der umgebenden Auflösung bildet, muß in dem Falle, wo die salpetersaure Lösung gesättigt ist, sehr schwach und sogar Null sein.

Das Zinn und sein Sulfat, das Eisen und sein Hydrochlorat, das Blei, das Antimon und das Wismuth wirken in Beziehung auf ihre Auflösungen, wenn man einige Tropfen Säure daran thut, gerade so wie das Kupfer. Der nämliche Fall tritt ferner bei dem Zinke, bei dem Eisen mit den Auflösungen ihres Nitrats ein. Das Metall bemächtigt sich in Gemäßheit des allgemeinen Princips, der negativen Elektricität; mit Auflösungen ihres Sulfates aber bringen diese beiden letzteren Metalle bisweilen umgekehrte Erscheinungen hervor; in dem Augenblicke, wo man einige Tropfen Schwefelsäure zuschüttet, wird das Metall positiv. Man sieht also, wie wichtig es ist, bei den Apparaten, die dazu bestimmt sind, vermittelst chemischer Wirkungen Elektricität zu erzeugen, die Erscheinungen in Erwägung zu ziehen, welche aus der Rückwirkung der Auflösungen auf einander entspringen, denn es kann sich bisweilen ereignen, daß diese Rückwirkung, welche eine kräftige Ursache der Elektricitätsentwicklung ist, den Wirkungen, die man beabsichtigt, zuwider läuft.

Wir wollen jetzt sehen, was bei der Rückwirkung zweier verschiedener Metalle auf eine oder mehrere Flüssigkeiten vorgeht. Um diese Erscheinungen gehörig zu erklären, muß man von dem Grundsatze ausgehen, daß ein Metall, wenn es angegriffen wird, negative und die Säure positive Elektricität entwickle. Es folgt daraus, daß man, wenn man zwei Metalle, die durch einen Metalldraht mit einander in Verbindung stehen, in eine Säure oder andere wirksame Flüssigkeit taucht, einen elektrischen Strom erhält, der von der Verschiedenheit der erzeugten Erschei-

nungen herrührt. Wenn man demnach das Maximum der Wirkungen erreichen will, so muß das eine von den beiden angegriffen werden, und das andere nicht, denn bei gleichen Wirkungen von beiden Seiten ist der Strom Null.

Wir wollen einige Fälle entwickeln. Der einfachste ist folgender: jedes Metall, das mit einem Multiplikator in Verbindung steht, taucht in eine Kapsel ein, die mit derselben Flüssigkeit angefüllt ist, und die Verbindung zwischen den beiden Kapseln ist vermittelst eines Drahtes aus Asbest hergestellt; es seien eine Kupferplatte, eine Zinkplatte und eine Lösung von schwefelsaurem Zink. In dem Augenblicke des Eintauchens entzieht das Kupfer der Flüssigkeit die positive und das Zink die negative Elektricität. Diese Thatsache beweist uns, wie man es übrigens auch vermuthen mußte, daß das Zink von der Flüssigkeit mehr angegriffen wird, als das Kupfer. Nehmen wir an, die Abweichung der Magnetnadel betrage 62°; wenn man einige Tropfen Salpetersäure oder salpetersaures Kupfer in die Kapsel thut, worin sich die Kupferplatte befindet und wo die chemische Wirkung weniger stark ist, so begibt sich die Magnetnadel, anstatt rückwärts zu gehen, weil das Kupfer stärker angegriffen wird, auf 86° und bleibt in dieser Lage stehen. Diese Thatsache ist keine Anomalie, wie man es glauben möchte, denn um sie zu erklären, darf man nur die Reaktion der Salpetersäure oder des salpetersauren Kupfers auf das schwefelsaure Zink in Anschlag bringen. Da bei dieser Reaktion die Lösung des salpetersauren Kupfers in Beziehung auf die des schwefelsauren Zinks positiv ist, so erhält man einen Strom in der nämlichen Richtung mit dem ersten und es ist natürlich, daß die Summe dieser beiden Ströme einen stärkeren Strom gibt, als der erstere. Diese Erklärung ist die einzige, die man geben kann; denn wenn man die nämliche

Menge Salpetersäure in die andere Kapsel thut, so wird die Intensität des Stromes augenscheinlich vermindert, was nur von der Rückwirkung der Salpetersäure oder des gebildeten salpetersauren Zinks auf das Sulfat herrühren kann und woraus ein Strom in umgekehrter Richtung mit dem entspringt, den die Rückwirkung des Sulfats auf das Zink hervorbrachte. Wir haben mit diesem letzteren Salze operirt, um den Einfluß zu zeigen, den die Reaktion der Lösungen auf einander auf die Intensität des Stromes ausübt. Dieser Einfluß ist von der Art, daß wir glauben, uns noch dabei verweilen zu müssen, um Thatsachen zu erörtern, welche seine Wichtigkeit in ein helles Licht setzen. Die einfachste Experimentirweise zu Beobachtung dieser Thatsachen ist folgende:

Man nimmt eine kleine Kapsel aus Glas oder gefirnißtem Holze, die vermittelst einer Scheidewand aus Goldschlägerhaut, die an den Wänden sorgfältig verkittet ist, in zwei Fächer eingetheilt ist, und gießt in jedes derselben eine Lösung von gleicher oder von verschiedener Natur. Wir wollen annehmen, daß man anfänglich mit Wasser operire, das $\frac{1}{50}$ Schwefelsäure enthalte, und wollen einerseits eine Zinkplatte, andererseits eine Kupferplatte eintauchen und beide mit einem Multiplikator verbinden. Die Resultate eines Versuchs sind folgende:

Flüssigkeit in dem Kupferfache.	Flüssigkeit in dem Zinkfache.	Dauer des Eintauchens.	Abweichung der Magnetnadel.
Wasser und $\frac{1}{50}$ Schwefelsäure	ditto	0 15 Minuten 30 "	63° 53° 46°

Man hat die Versuche wieder angefangen, nach-

dem man die Platten abgetrocknet hatte. Zuerst war die Abweichung noch 63°. Als man einige Tropfen Salpetersäure in das Kupferfach that, so nahm der Strom an Intensität zu, obgleich das Kupfer angegriffen wurde und daraus ein Strom in umgekehrter Richtung erfolgen sollte. Diese Erscheinung ist aber bereits erklärt worden, wir werden sie nicht wiederholen. Wir geben bloß die erhaltenen Resultate.

Außer der oben angeführten Ursache muß man auch noch eine andere mitwirken lassen. Wenn die Salpetersäure das Kupfer angreift, so erleichtert sie den Uebergang des Stroms aus der Flüssigkeit in dieses Metall und muß demnach die Intensität des Stromes vermehren, wie dies die folgenden Resultate beweisen:

Flüssigkeit in dem Kupferfache.	Flüssigkeit in dem Zinkfache	Dauer des Eintauchens.	Abweichung der Magnetnadel.
Wasser und 1/50 Schwefelsäure, woran man 1/50 Salpetersäure oder einer gesättigten Auflösung von salpetersaurem Kupfer thut.	Wasser und 1/50 Schwefelsäure.	0	81
		15 Minuten	73
		30 „	63

Wir wollen zu dem Falle übergehen, wo das Kupfer in eine gesättigte Auflösung von salpetersaurem Kupfer und das Zink in eine gesättigte Auflösung von schwefelsaurem Zink eintaucht, man erhält alsdann folgende Resultate:

Flüssigkeit in dem Kupfersache.	Flüssigkeit in dem Zinksache.	Dauer der Eintauchung.	Abweichung der Magnetnadel.
Gesättigte Auflösung von salpetersaurem Kupfer.	Gesättigte Auflösung von schwefelsaurem Zinke	0	84
		15 Minuten	72
		30 "	68

Diese Resultate machen den Einfluß augenscheinlich, den die Reaktion der beiden Auflösungen aufeinander ausübt, weil der Strom eine größere Intensität hat, als in den vorhergehenden Versuchen, unter übrigens ganz gleichen Umständen, und obschon das Zink nicht mit eben so viel Kraft angegriffen wird, als wenn die Auflösung sauer war. Nach dieser Verfahrungsweise ist der Strom noch nicht constant, man bringt es aber vermittelst folgender Anordnung dahin:

Flüssigkeit in dem Kupfersache.	Flüssigkeit in dem Zinksache.	Dauer der Eintauchung.	Abweichung der Magnetnadel.
Wasser 1/50 Schwefelsäure.	Wasser 1/2 Schwefelsäure und 1/50 Salpetersäure.	0	62
		15 Minuten	64
		30 "	61

Da die Abweichungen nacheinander 62°, 64°, 61° gleich sind, so sieht man, daß der Strom darnach strebe, constant zu werden; diese Erscheinung rührt daher, daß die Salpetersäure bei ihrem langsamen Durchgange durch die Haut die Kupferplatte reinigt und die Körper wegschafft, die sich auf derselben ablagern und einen Strom in umgekehrter Richtung hervorzubringen suchen. Um überhaupt einen con=

stanten Strom zu erhalten, ordnet man den Apparat so an, und wählt die Flüssigkeiten, welche dazu dienen, daß er funktionirt, so daß die Metallplatten immer ganz rein sind. Zu dem Ende müssen die Flüssigkeiten die Substanzen in dem Verhältnisse auflösen, als sie auf den Platten durch den Strom abgelagert werden.

Die vorhergehenden Versuche beweisen, daß man, wenn man einfache Apparate verfertigen will, welche beinahe constante Ströme hervorbringen, zwei Bedingungen erfüllen müsse: die erste besteht darin, die beiden Flüssigkeiten durch eine Scheidewand zu trennen, welche eine langsame Reaktion zwischen ihnen gestattet und nur das möglichst schwächste Hinderniß der Cirkulation des Stroms entgegenstellt; die zweite besteht darin, metallische Substanzen zu wählen, deren Oberflächen keine secundäre Ströme veranlassen, die, da sie in umgekehrter Richtung wirken, beständig dahin streben, die Wirkung des primitiven Stromes zu schwächen. Bevor wir aber die Verfertigung und den Gebrauch einfacher elektrochemischer Apparate mit constantem Strome beschreiben, ist es unerläßlich, von den Scheidewänden, von den Eigenschaften des amalgamirten Zinks und von den Platten zu sprechen, die mit den Gasen in Contakt gebracht wurden.

Von den Scheidewänden.

Da es hinlänglich bewiesen ist, daß es, um einen Strom von Intensität, bei Anwendung einer Kette zu bekommen, die aus zwei Metallen und zwei verschiedenen Flüssigkeiten besteht, nothwendig sei, daß eines von den beiden Metallen von einer der beiden Auflösungen angegriffen werde, und daß diese langsam auf einander reagiren, damit die elektrischen Erscheinungen, die daraus entspringen, zu denen hinzukommen, welche durch die Reaktion der Flüssigkeit

auf das Metall hervorgebracht werden, und daß man diese Bedingungn nur in so weit erfüllen könne, als die beiden Flüssigkeiten durch eine Scheidewand getrennt sind, welche für dieselbe durchgänglich ist, und den Strom durchläßt, ohne daß daraus ein merklicher Verlust in seiner Intensität entspringt. Diese Scheidewand muß in Beziehung auf ihre Natur und Dicke nach der Natur der Flüssigkeiten und der Intensität des Stroms verschieden sein; denn je größer die Intensität desselben ist, eine desto größere Dicke kann man der Scheidewand geben.

Bis jetzt hat man sieben Arten von Scheidewänden angewandt: 1) Goldschlägerhaut, Blase; 2) Leder, lohgar gemachtes Leder; 3) dicht gewobenes Segeltuch, dünne Brettchen von Tannenholz oder aus Holz mit fasrigem Gewebe; 4) Kaolin (kalkfreier Thon); 5) Biscuit, halbgebrannte Erde, wie die der Alcarazas; 6) Pfeifenköpfe, Tiegel, angerührter Gyps, und endlich 7) schwach getheerte Pappe. Wir wollen jetzt die Vorzüge und die Nachtheile dieser verschiedenen Scheidewände durchgehen, wovon mehrere mit Vortheil in den Anwendungen der Elektricität auf die Künste gebraucht werden können.

Die Goldschlägerhaut und die Blase sind die Scheidewände, die wegen ihrer geringen Dicke den geringsten Widerstand der Fortpflanzung des Stroms entgegenstellen; sie können nur bei Forschungsversuchen dienen und auch da, wenn die Lösungen weder sauer noch alkalisch sind oder keine Gold-, Silber-, Platinsalze enthalten, deren Oxyde durch die organischen Stoffe reduzirt werden; denn alsdann zerstören sie die chemischen Agentien bald. Das Dasein der reduzirten Metalle auf ihrer Oberfläche zeigt Nachtheile, wovon nachher die Rede sein wird.

Das Leder und das trocken lohgare Leder, d. h. das ohne fette Körper lohgare Leder, hat zwar die nämlichen Nachtheile, da es aber einen größeren Wi-

derstand zeigt, so ist es auch von längerer Dauer und seine Anwendung vortheilhaft. Das Leder muß mehrere Tage lang in Wasser gelegt werden, um alle lösliche organische Stoffe wegzuschaffen; wenn es in Salzwasser gelegen hat, wenn es in der Luft gelassen wurde, und man es aufs Neue anwendet, so erlangt es eine solche Dichtheit, daß die Ströme nicht mehr durchgehen. Diese Wirkung rührt nicht bloß von der Krystallisation des Kochsalzes in den Poren des Leders, sondern auch von der Bildung einer Mischung her, welche das warme Wasser nicht auflösen kann. Darum muß man jedesmal, wenn die Scheidewände in Salzwasser getaucht waren, dieselbe wieder in Wasser auswaschen, um den angegebenen Erscheinungen auszuweichen. Begreiflich kann man derartigen Scheidewänden dadurch große Dimensionen geben, daß man mehrere Felle durch eine Naht mit engen Stichen vereinigt und die Nahtstiche theert. Aehnliche, gut zubereitete Scheidewände halten lange Zeit die Flüssigkeit ohne merklichen Verlust; der einzige Nachtheil ist die oft etwas starke Dicke des Leders. Die sämisch gemachte Haut und die Haut im Allgemeinen sind für die Flüssigkeit zu durchgänglich. Man kann sie nur in dem Falle anwenden, wo die beiden Flüssigkeiten einen sehr schwachen Grad von Endosmose besitzen. Das mit fetten Körpern zubereitete Leder taugt gar nichts, weil es sich dem Durchgange des Stroms widersetzt.

Das Segeltuch ist eine der besten Scheidewände besonders bei neutralen Auflösungen, die nur einen schwachen Grad von Endosmose haben, denn der Strom wird nicht merklich aufgehalten, und man kann die Salzkrystalle, welche aus der Reaktion der beiden Auflösungen auf einander entstehen, leicht wegschaffen. Den Scheidewänden aus Segeltuch kann man eine beliebige Größe geben, was ein Vortheil in der In-

dustrie ist; die Naht muß mit einem Pechdrahte gemacht werden.

Die Brettchen aus Tannenholz oder aus jedem anderen faserigen Holze mit lockerem Gewebe, dürfen nur dann angewandt werden, wenn sie nicht mehr als zwei bis drei Millimeter in der Dicke haben; man muß aber zuvörderst darauf bedacht sein, den Saft und die harzigen Stoffe dadurch wegzuschaffen, daß man das Holz lange Zeit in kochendes, alkalisch gemachtes Wasser legt; diese Scheidewände können nur in einer sehr kleinen Anzahl von Fällen Dienste leisten, denn sie werfen sich beim Trocknen.

Der Kaolin oder der von kohlensaurem Kalke freie Thon ist unstreitig derjenige Stoff, welcher zu Bildung der Scheidewände die größten Vorzüge hat, weil man ihnen eine Dicke von mehreren Centimetern geben kann, ohne daß die Intensität des Stromes merklich abnimmt, wofern nur der Thon mit einer gut leitenden Flüssigkeit getränkt und nicht zu stark zusammen geballt ist. Einer von den großen Vorzügen der Scheidewände von einer gewissen Dicke besteht darin, daß man die Mischung der Auflösungen dergestalt aufhält, daß wir oft gesehen haben, daß diese mehrere Monate hindurch nicht bewerkstelligt wurde. Daraus entspringt bisweilen auch ein Nachtheil, vor dem man sich verwahren muß. Wenn zwei Auflösungen vermittelst des Thons auf einander reagiren, wenn sich eine Hydratverbindung bildet, so verliert der Thon das Wasser, das ihn feucht macht, und erlangt eine solche Compaktheit, daß der Strom endlich nicht mehr durchgeht. Dies ist ein Grund, in die Kette eine Boussole zu stellen, welche die Veränderungen in dem Strome anzuzeigen hat. Wenn man findet, daß der Thon eine zu große Compaktheit erhalten hat, so muß man ihn wegnehmen und einen andern dafür hinthun. Man vermeidet es, einen Thon zu nehmen, der Carbonate enthält, weil, wenn eine von den Flüssigkeiten

sauer ist, sich eine Entwicklung von Kohlensäure erzeugt, welche Störung in den Apparat bringt.

Das Biscuit wird mit Vortheil angewandt und zeigt mehr Widerstand als die halbgebrannte Erde oder die Tiegel und die Pfeifenköpfe: nur muß man dafür sorgen, die Scheidewände von Zeit zu Zeit zu waschen, um die Salze wegzuschaffen, welche bei ihrer Krystallisirung im Inneren die Wände endlich zersprengen. Man kann zwar den Tiegeln dadurch die nämliche Qualität verleihen, daß man sie einem stärkeren Grade des Brennens unterwirft. Die Tiegel sind wegen der Leichtigkeit, mit welcher man sich dieselbe verschaffen kann, die bequemsten Scheidewände; nur wenn ihre Wände zu dick sind, muß man diese Dicke mit der Feile vermindern und die Glasur, wenn eine da ist, wegschaffen; sonst würde die Erde nicht mit der Flüssigkeit getränkt werden, und der Strom nicht hindurch gehen. Scheidewände aus Gyps dürfen, aber nicht bei Auflösungen angewandt werden, welche freie Schwefelsäure enthalten; denn die Schwefelsäure löst nach und nach den schwefelsauren Kalk auf, und die Scheidewand verschwindet endlich.

Das getheerte Papier oder Pappe, welches der Flüssigkeit einen Durchgang gewährt, ist eine gute, leicht zu bereitende Scheidewand, indem der Theer nur dazu dient, daß sich die Pappe in dem Wasser nicht auflöse.

Im Allgemeinen kann jede, den Flüssigkeiten durchgängliche Substanz, welche nicht von denselben angegriffen oder erweicht wird, zu Bildung von Scheidewänden dienen; nur darf sie keine Stoffe enthalten, welche die Elektricität leiten, denn daraus würden in Folge des Durchganges des Stromes eben so viele Mittelpunkte zersetzender Wirkungen entstehen. Denn jedesmal, wenn durch einen festen, leitenden Körper in einer Flüssigkeit ein Strom geht, so wird der Endpunkt dieses Körpers, welcher dem positiven Pole

gegenüber liegt, zum negativen Pole und der andere Endpunkt zum positiven Pol, so daß der Körper ein Volta'sches Element bildet, das bei seiner Rückwirkung auf die umgebende Flüssigkeit die Zersetzung der Substanzen bewirkt, die es aufgelöst enthält. Demzufolge muß man es vermeiden, daß die Scheidewände keine Kohle, Pyriten und andere metallische Substanzen enthalten; von der Gegenwart dieser Stoffe in dem Thone rühren bisweilen Zersetzungen in der Erdrinde her, wovon wir später sprechen werden.

Die organischen Substanzen haben diesen Nachtheil nicht, denn sie sind nur dann leitend, wenn sie angefeuchtet sind; dem ungeachtet können sie, wenn einige ihrer Theile sehr dicht sind, als zersetzende Elemente dienen. In den organischen Flüssigkeiten gibt es Kügelchen, die als Leiter dienen können. Dies ist eine Frage, die wir zu untersuchen Gelegenheit finden werden.

Nachdem wir das vorgetragen haben, was die Scheidewände anbetrifft, so müssen wir die geeignetsten metallischen Substanzen angeben, um die Polarisation und die Erzeugung von Strömen in umgekehrter Richtung zu vermeiden. Zu einfachen Apparaten braucht man zwei Metalle, wovon das eine oxydirbar oder ein Erzeuger der Elektricität ist und welches, wenn es von einer Flüssigkeit angegriffen wird, die negative Elektricität annimmt, während sich die Flüssigkeit der positiven Elektricität bemächtigt, die von dem nicht oxydirbaren Metalle gesammelt wird.

Es ist jetzt hinlänglich bewiesen, daß, wenn man zwei Platten von verschiedenem Metalle in eine neutrale, saure oder alkalinische Lösung taucht, die Richtung und die Intensität des Stromes von der Wirkung, welche die Flüssigkeit auf jede der Platten und insbesondere auf das oxydirbarste Metall ausübt, so wie von der leitenden Kraft der Lösung abhängen. Man kann daher in den allermeisten Fällen, wenn

man die Natur der Lösung und die beiden Metalle kennt, a priori voraussehen, in welcher Richtung der Strom vor sich gehen werde. Wir wollen einige Beispiele davon anführen. Wenn man zwei Platten, die eine von Kupfer, die andere von Zink, in Verbindung mit einem Multiplikator in Salzwasser taucht, so entzieht das Zink der Flüssigkeit die negative Elektricität, weil es von derselben mehr angegriffen wird, als das Kupfer; ist aber die Flüssigkeit eine Lösung von Schwefelkalium, so nimmt der Strom eine entgegengesetzte Richtung an, weil das Kupfer mehr angegriffen wird als das Zink. Eine Platte aus Kupfer und eine aus Zinn, welche in eine saure und salzige Lösung getaucht werden, geben einem Strome das Entstehen, welcher von dem Zinne zum Kupfer durch die Flüssigkeit geht; während mit Ammoniak der Strom eine entgegengesetzte Richtung einschlägt. Wenn man in concentrirte Salpetersäure und in verdünnte Salpetersäure verschiedene Metallpaare taucht, so bildet man die folgende Tabelle, in welcher jedes Metall in Beziehung auf das ihm vorangehende positiv ist.

Concentrirte Salpetersäure.	Verdünnte Salpetersäure.
Oxydirtes Eisen	Silber
Silber	Kupfer
Quecksilber	Oxydirtes Eisen
Blei	Eisen
Kupfer	Blei
Eisen	Quecksilber
Zink	Zinn
Zinn	Zink

Ein Gold- und Kupferpaar gibt keine Erscheinung, wenn man Quecksilber als flüssigen Körper anwendet. De la Rive hat den Zweifel ausgesprochen, daß die Bildung des Amalgams eine ächte chemische Wirkung sei; diese Behauptung kann aber nicht begründet werden, weil eine Verbindung in bestimmten Ver-

hältnissen stattfindet; es findet ohne allen Zweifel auch elektrische Wirkung Statt, aber der Multiplikator kann den hervorgebrachten Strom nicht anzeigen, denn die beiden Elektricitäten finden eine größere Leichtigkeit darin, sich auf der Oberfläche des Goldes und des Quecksilbers wieder zu vereinigen, als dem Drahte des Multiplikators zu folgen. Im Allgemeinen wird jedesmal, wenn der dazwischen befindliche Körper ein besserer oder eben so guter Leiter als der Draht des Multiplikators ist, die Wiedervereinigung an der Contaktsoberfläche selbst bewerkstelligt. Die Richtung des Stroms bei einem Paare, das in eine Flüssigkeit eintaucht, hängt wohl von der Energie ab, mit welcher die chemische Wirkung auf eines von den Elementen dieses Paares vor sich geht; dasjenige, welches am meisten angegriffen wird, entzieht der Flüssigkeit die negative Elektricität. Kann man aber durch Vergrößerung der Oberfläche des am wenigsten angegriffenen Metalles die thätigste Wirksamkeit dieser Flüssigkeit auf das andere Metall vergleichen und sogar übertreffen? De la Rive, welcher diese Frage genau untersuchte, hat gefunden, daß dies bisweilen stattfinde, wenn die Differenz zwischen den chemischen Eigenschaften der Metalle unbedeutend ist, daß aber im Allgemeinen die Summe einer großen Anzahl sehr schwacher chemischer Wirkungen in Beziehung auf die hervorgebrachten elektrischen Erscheinungen einer sehr starken elektrischen Wirkung nie gleich kommen könne, selbst wenn diese nur auf einer sehr kleinen Oberfläche bewerkstelligt würde.

Von dem amalgamirten Zinke.

Eine amalgamirte Zinkplatte besitzt die sonderbare Eigenschaft, daß sie von dem durch die Schwefelsäure schwachgesäuerten Wasser nicht angegriffen wird; wenn man sie aber mit einem Drathe von Kupfer oder

Platin berührt, so wird die Wirkung sogleich lebhaft, das Zink löst sich auf und der Wasserstoff wird an dem Drathe frei, welcher der negative Pol des Volta'schen Paares wird. Man kann diese Erscheinung für eine Anomalie halten, denn da das Quecksilber durch seinen Contakt mit dem Zinke und dem gesäuerten Wasser, ein Volta'sches Paar bildet, so sollte das Zink mehr angegriffen werden, als wenn es nicht mit ihm verbunden ist. Da nun das Gegentheil stattfindet, so müssen sich also die Partikelchen des Zinks in Folge ihres Contaktes mit dem Quecksilber in dem nämlichen Zustande befinden, wie die Partikelchen einer Platte aus Eisen, das durch die Salpetersäure unthätig gemacht wurde.

Man amalgamirt das Zink, indem man es in Wasser, das durch Schwefelsäure säuerlich gemacht wurde, reinigt, und Quecksilber über dasselbe ausbreitet. Wenn man in so gesäuertes Wasser eine Platte gewöhnliches Zink und eine andere amalgamirte bringt und man sie vermittelst eines Kupferdrathes in Verbindung setzt, so verhält sich die amalgamirte Platte wie das Zink und die andere wie das Kupfer bei einem gewöhnlichen Volta'schen Paare. Was die Erscheinungen, welche in dem gesäuerten Wasser von einer amalgamirten Zinkplatte in Verbindung mit einer Kupfer- oder andern Platte hervorgebracht werden, von denen unterscheidet, welche bei einer Zink- und einer Kupferplatte stattfinden, so besteht dies darin, daß die chemische Wirkung, welche an dem Zinke gewöhnlich heftig und von Intensität ist, an den Platten von amalgamirtem Zinke ruhig und gleichförmig ist. Ueberdies sind die elektrischen Kräfte stärker erhöht und länger im Spiele als bloß mit Zink: wenn man eine Lösung von Salpetersäure anwendet, so erlangen diese Kräfte einen großen Grad von Intensität. Folgendes sind die Resultate eines Versuchs von Faraday mit einem Paare, mit einem amalgamirten Zink- und

Platinpaare; die Oberfläche jeder Platte betrug vier (englische) Quadratzolle und die dazwischen befindliche Flüssigkeit war Wasser, das durch Schwefelsäure gesäuert war:

In dem ersten Augenblicke war die Abweichung 62°,5 sodann

In 5 Minuten	60°
10	57
15	55
20	52,5
25	49
30	48
35	47
40	46,50
45	46
50	46
55	45
60	45

Nachdem der Apparat eine Stunde lang funktionirt hatte, so wurde die Kette eine Minute lang unterbrochen und die Lösung mit den Platten, die sie enthielt, in Bewegung gesetzt; als sodann die Verbindung wieder hergestellt war, so stellte sich die Nadel nach einigen Schwingungen auf 47°, d. h. der Strom hat seine erste Intensität wieder angenommen. Als die Kette eine Stunde lang geschlossen blieb, so betrug die Abweichung noch 42°, nach Verlauf einer Stunde war sie nicht verändert. Man findet in diesem Resultate einen Beweis, daß das amalgamirte Zink mit Vortheil bei Verfertigung der Säulen mit constantem Strome angewandt werden könne; woher können aber die Eigenschaften des amalgamirten Zinks rühren? Faraday, der sich mit dieser Frage beschäftigte, wußte sie nicht zu lösen; indessen sind die Betrachtungen, die er anstellte, von der Art, sie zu beleuchten. Eine Lösung von 30 Theilen Wasser und 1 Theil Schwefelsäure wirkt nur schwach auf das

reine Zink, während sie das im Handel vorkommende stark angreift. De la Rive schrieb diese Verschiedenheit der Gegenwart des Eisens, des Cadmiums zu, die sich im unreinen Zinke vorfinden, und welche eben so viele Volta'sche Paare bilden; es erhellt auch wirklich aus dieser Vielfachheit von Wirkungen, daß viel Zink zerstört wird, und daß sich dem Anscheine nach Wasserstoff an der Oberfläche entwickle, obgleich diese Entwicklung in der Wirklichkeit nur an der Oberfläche der fremdartigen, metallischen Partikelchen stattfand; man schloß augenscheinlich daraus, daß diese Partikelchen zu gleicher Zeit dazu dienen, die Elektricität des Zinks zu entladen, und auf diese Weise das Vermögen verringern, das dieses Metall besitzt, einen elektrischen Strom hervorzubringen, was macht, daß die Intensität des Stroms, welcher in die Metallkette übergeht, sehr geschwächt wird. Durch die Amalgamirung der Oberfläche des Zinks bringt man dieselbe in eine gleichförmige Lage, welche die Wirkung der kleinen Volta'schen Paare aufhebt. Die Schwierigkeit ist zu erklären, warum sich die Gegenwart des Quecksilbers dem Angegriffenwerden des Zinkes so lange widersetze, bis man es mit einem Kupfer- oder Platindrahte berührt. Alles, was man in dieser Beziehung sagen kann, besteht darin, daß, da die Oberfläche des Zinks überall mit Quecksilber bedeckt ist, ein Theil dem andern gegenüber nicht als Entlader wirken könne; demnach ist die chemische Wirkung ganz aufgehoben.

Zwei wichtige Vortheile entspringen aus der Anwendung der amalgamirten Zinkplatten. Der erste besteht darin, daß das vollständige Elektricitätsäquivalent durch die Oxydirung einer gewissen Menge Zink erhalten wird; d. h. daß man, wenn man die Zersetzung eines aufgelösten Metallsalzes mit dem einfachen Apparate bewirkt, ein Aequivalent reduzirten Metalles für ein Aequivalent verbrauchten Zinks erhält.

Der zweite Vortheil ist der, daß das Zink nicht angegriffen wird, wenn die Kette nicht geschlossen ist; wir wollen einen dritten angeben.

Die Wirkung ist nicht regelmäßig bei einem Paare, bei welchem sich gewöhnliches Zink befindet, weil die Störung, die durch das Gas in die Flüssigkeit gebracht wird, auf die Oberfläche des Zinks ungleiche Mengen von Säure führt, welche die Oberflächen nicht gleichförmig reinigt, was bei dem amalgamirten Zinke wegen seiner regelmäßigen Wirkung nicht der Fall ist.

Es möchte scheinen, daß, wenn die Cirkulation des Stroms zwischen dem amalgamirten Zinke und dem Kupfer oder dem Platin durch das Vorkommen einer Scheidewand beengt ist, die Menge an consumirtem Zinke gleichfalls abnehme, was eine merkwürdige Verbindung zwischen der Intensität des Stroms, der Menge des aufgelösten Zinks und der Menge des zersetzten Metallsalzes begründet, eine Verbindung, die wir nicht erklären können. Wir haben noch mehrere Punkte zu untersuchen, bevor wir die einfachen Apparate mit constantem Strome beschreiben.

Von dem Einflusse der Temperatur der Platinaplatten, die zu Leitung der elektrochemischen Ströme dienen.

Um sich aber elektrische Erscheinungen, die bei der Reaktion der Auflösungen auf einander stattfinden, recht zu erklären, muß man diejenigen in Anschlag bringen, welche hervorgebracht werden, wenn man eine Platinplatte erhitzt, welche in eine neutrale, saure oder alkalinische Auflösung eintaucht. Begreiflich erhöht die erwärmte, in die Flüssigkeit gebrachte Platte die Temperatur der Flüssigkeitsschichte, die mit ihr in Berührung steht, so daß eine Rückwirkung dieser Schichte auf die umgebende Flüssigkeit und ein elek-

trischer Strom stattfindet, welcher in der nämlichen oder in der umgekehrten Richtung von dem sein kann, den man erhalten will. Um diese Frage zu lösen, muß man wissen, was bei der Reaktion einer warmen Flüssigkeit auf eine kalte vorgeht. Zu dem Ende nimmt man zwei Kapseln, wovon die eine eine warme, die andere eine kalte Flüssigkeit enthält. Man taucht in jede derselben eine Platinplatte, die mit einem Multiplikator in Verbindung steht, und bildet die Communikation zwischen den beiden Kapseln durch einen baumwollenen Docht. Folgendes gibt der Versuch: wenn warmes Wasser oder eine warme alkalinische Lösung auf kaltes Wasser oder eine kalte alkalinische Lösung reagirt, so nimmt dieses die positive und die erwärmte Flüssigkeit die negative Elektricität an. Eine warme saure Lösung und eine kalte bringen entgegengesetzte Erscheinungen hervor, d. h. die warme Flüssigkeit nimmt die positive Elektricität an. Wir müssen noch beifügen, daß die elektrischen Erscheinungen während des Abkühlens umgekehrt sind. Die so eben erklärten Versuche können mit einem langdrahtigen Multiplikator angestellt werden, der dazu bestimmt ist, die elektro-chemischen Erscheinungen zu erkennen, und der nur dazu dienen kann, die thermo-elektrischen Ströme nur sehr schwer fortzupflanzen; daraus muß man demnach schließen, daß bei der Mischung einer warmen Lösung mit einer kalten ein chemisches Phänomen bewirkt werde, das in Beziehung auf die elektrischen Erscheinungen den Verbindungen ähnlich ist. Die Mischung des warmen Wassers mit kaltem veranlaßt also in der That eine chemische Wirkung.

Daraus ist begreiflich, daß, wenn eine Flüssigkeit lebhaft auf ein Metall reagirt, nicht bloß eine elektrische Erscheinung, die aus der chemischen Wirkung entspringt, stattfinde, sondern daß, da die anhängende Flüssigkeitsschichte erwärmt wird, wenn die Wirkung lebhaft ist, eine Reaktion der erwärmten Flüssigkeit

auf die umgebende Flüssigkeit stattfinden müsse. Bei der Analyse der elektrischen Erscheinungen muß man sie daher in Anschlag bringen.

Betrachtungen über die Theorie des Contakts.

Die elektrischen Erscheinungen, die durch den Contakt der festen und liquiden Körper hervorgebracht werden, haben eine solche Wichtigkeit in der Elektrochemie, weil sie diesem neuen Zweige der physikochemischen Wissenschaften zur Grundlage dienen, daß man sie nicht sorgfältig genug studiren kann. Volta glaubte sie durch die Annahme des Daseins einer elektro-bewegenden Kraft erklären zu können, deren Wirkung nach ihm so beschaffen war, daß sich zwei leitende Körper im Contakte bloß durch diesen Contakt in zwei verschiedene elektrische Zustände versetzen. Fabroni läugnete das Dasein dieser Kraft und schrieb den Wirkungen des Contaktes einem chemischen Ursprung zu; diese beide Meinungen sind nach der Reihe von Wollaston, Davy und anderen Physikern angefochten, vertheidigt und modificirt worden; aber erst alsdann, als man die elektrischen Erscheinungen, die entweder in den chemischen Wirkungen oder in den Molekularerscheinungen hervorgebracht wurden, analysirt hatte, sah man sich wirklich genöthigt, den unmittelbaren Einfluß der chemischen Reaktionen auf die Erzeugung der elektrischen Contakterscheinungen oder auch die Wirkung der Wärme oder irgend einer mechanischen Ursache anzunehmen, welche das natürliche Gleichgewicht der Moleküle stören kann. Volta's Contakterscheinungen können gar wohl stattfinden, wenn sich die Verwandtschaften zwischen zwei Körpern im Contakte ausüben, bevor die Verbindung bewerkstelligt wird; diese Erscheinungen aber, deren

Dasein wir nicht ganz läugnen, verschwinden denen gegenüber, deren wir so eben erwähnten.

Die Anhänger der Volta'schen Theorie, welche die Frage nur aus einem einzigen Gesichtspunkte ins Auge fassen, können nur sehr wenige von den zahlreichen Thatsachen erklären, die man jeden Tag entdeckt, und welche wegen ihrer Zahl und ihrer Besonderheit auf allen Seiten über den Rahmen hinausragen, in den man sie einzuzwängen sucht. Diese Theorie hat den einzigen Vortheil, daß sie der mathematischen Analyse ein einfaches Princip liefert, woraus man Formeln ableiten kann, welche willkürliche constante Größen, in einigen besondern Fällen die Resultate des Versuchs enthalten. Dies ist einer von den Gründen, welche zu seiner Beibehaltung in der Wissenschaft beigetragen haben. Wenn man übrigens über ein Princip streitet, ohne zur Unterstützung seiner Meinung andere als bekannte und analoge Thatsachen anzuführen, so schreitet die Wissenschaft nicht weiter und jeder bleibt bei seiner Meinung. Wenn man nicht gesucht hätte, die Unzulänglichkeit der Volta'schen Theorie zu beweisen, wie dies de la Rive und wir selbst thaten, um eine Menge neuer Thatsachen zu erklären, bei welchen die chemischen Reaktionen die Hauptrolle spielen, so wäre die Elektrochemie stillstehend geblieben. Wir haben durchaus nicht die Absicht, hier die Contaktstheorie zu erörtern, weil wir dem nichts beizufügen wußten, was wir oft und viel in unserer Abhandlung über die Elektricität gesagt haben, auf welche wir den Leser verweisen. Indessen halten wir es für nothwendig, die neuen Forschungen Faraday's anzuführen, welche zum Zwecke hatten, zu zeigen, daß der Contakt, den keine chemische Erscheinungen begleiten, unzureichend sei, um elektrische Wirkungen hervorzubringen.

Faraday nahm Flüssigkeiten, welche keine chemische

Wirkungen ausüben, um zu sehen, was mit Ausschluß dieser Ursache von Elektricitätsentwicklung vorginge. Diese Flüssigkeiten hatten bloß die Fähigkeit, einen elektrischen Strom zu leiten, der von einem einzigen Paare Wismuth und Antimon herkam. Einige seiner Resultate sind folgende:

1) Schwefelkalium in verdünnter Lösung, in welche zwei Platinaplatten eintauchten, die mit einem thermo-elektrischen Paare und einem Multiplikator in Verbindung standen und wo das Ganze eine geschlossene Kette bildete. Bei gleicher Temperatur in allen Theilen dieser Kette, fand keine Stromerzeugung Statt; wenn man aber die Verbindungspunkte Wismuth und Antimon erwärmte oder abkühlte, so wich die Magnetnadel zuweilen bis auf 80° ab. Nahm man statt des Wismuth- und Antimonpaares andere thermo-elektrische Paare, so fanden die nämlichen Erscheinungen Statt, nur waren sie nicht so stark.

2) Wenn man statt der Lösung von Schwefelkalium, wasserfreie salpetrige Säure nahm, so wurde der thermo-elektrische Strom nicht fortgepflanzt; diese um ihr Volumen mit Wasser verdünnte Säure wurde aber ein ziemlich guter Leiter, um dem thermo-elektrischen Strome einen Weg zu bahnen.

3) Die der salpetrigen Säure beraubte Salpetersäure leitete schlecht; die strohgelbe Säure war ein besserer Leiter und die rothe Säure konnte für einen guten Leiter gehalten werden. Die reine Salpetersäure mußte also ein schlechter Leiter für die thermo-elektrischen Ströme sein.

4) Die gewöhnliche Schwefelsäure leitete den elektrischen Strom schlecht, während sie mit zwei Volumen Wasser vermischt ein besserer Leiter wurde, als die beiden ersten Flüssigkeiten.

Endlich leitete eine concentrirte Kalilösung nur sehr schach.

Als Faraday das Leitungsvermögen verschiedener

fester Körper in Beziehung auf die thermo-elektrischen Ströme untersuchte, so fand er, daß der Bleiglanz, das Eisenbisulfür, die arsenikalischen Pyrite, das Doppelt-Kupfer- und Eisensulfür, der Kupferglanz, die Wismuth-Eisen- und Kupfersulfüre, die Oxydkügelchen von verbranntem Eisen, das Oxyd vom Hammerschlag u. s. w. den Strom recht gut leiten, während die Mangan- und Blei-Superoxyde ihn nur mittelmäßig leiten, und daß das künstliche Schwefelzinn, die Blende, der Zinnober, der Hämatit, das geringhaltige Eisen, das magnetische Eisenoxyd, das natürliche Zinnoxyd, das Wolfram, das Kupfersuperoxyd, das Quecksilbersuperoxyd ihn durchaus nicht leiteten.

Gemischte Ketten, die aus allen diesen liquiden oder festen Körpern bestanden, gaben nie einen Strom, wenn die Temperatur in allen Theilen der Kette dieselbe war, obschon die thermo-elektrischen, die schwächsten, die wir kennen, durch jeden derselben durchgingen. Faraday erforschte sodann, was in den gemischten Ketten bei Befolgung des Ganges vorgehe, den wir vor mehr als achtzehn Jahren einschlugen, als wir mit einer geschlossenen Kette operirten, die aus zwei Golddrähten und Salpeter- oder Salzsäure bestand; da die Resultate dieses Versuchs S. 4 angegeben wurden, so werden wir sie hier nicht wiederholen. Faraday hat mehrere andere Beispiele von vermischten, unthätigen Ketten angegeben, deren Kenntniß von Nutzen ist: 1) er bediente sich einer Kette, die aus einer Lösung von Schwefelkalium, aus einer Eisen- und einer Platinplatte im Contakte bestand; die Auflösung wurde in zwei Gläser gebracht, in welche zwei Platinplatten, die mit dem Multiplikator in Verbindung standen, eintauchten, und die beiden Gläser standen vermittelst des Metallpaares in Communikation miteinander. Jedesmal wenn die Kette geschlossen war, blieb die Nadel auf

Null, was augenscheinlich zu erkennen gab, daß bei dem Contakte des Eisens und des Platins keine Erzeugung von Elektricität stattfinde, denn wenn dies der Fall gewesen wäre, so wäre sie leicht durchgegangen, weil der thermo-elektrische Strom, welcher stattfand, als man Wärme an dem Verbindungspunkte Eisen und Platin anbrachte, so durch die Flüssigkeit ging, daß er die Nadel zu einem Abweichen von 30° bis 50° brachte, wohlverstanden übrigens zeigte sich die negative Erscheinung erst dann, wann die metallischen Oberflächen ganz rein waren, und man sich gegen alle Ursachen geschützt hatte, die etwa secundäre Erscheinungen hätten veranlassen können. Nahm man statt des Eisens Nickel, Palladium, Gold u. s. w., so erhielt man die nämlichen Resultate.

Versuche sind gleichfalls mit der Lösung von Schwefelkalium, Platin und mineralischen Substanzen wie der Bleiglanz und die Pyriten angestellt worden und die Wirkungen sind beständig negativ gewesen; es ist also durch die vorhergehenden Thatsachen, welche mit denen, die wir seit langer Zeit bekannt gemacht haben, identisch sind, hinlänglich bewiesen, daß jedesmal, wenn keine chemische Reaktion der flüssigen auf die festen Körper stattfindet, auch keine elektrischen Erscheinungen vorkommen. Wir wollen zu dem Fall übergehen, wo eine chemische Wirkung den Contakt begleitet. Die von Faraday beobachteten Thatsachen werden dem chemischen Entstehen der Volta'schen Elektricität noch mehr Stärke verleihen. Die thätige Flüssigkeit war abermals Schwefelkalium, und die Metalle Drähte von Platin, Gold, Eisen, Blei und Zinn; zwei von diesen Drähten, welche nach einander mit einem Multiplikator in Verbindung standen, wurden in die Schwefellösung gebracht; bei Zinn und Platin fand ein energischer Strom von dem ersten zum zweiten durch die Lösung Statt. Der

Strom nahm schnell an Intensität ab; zehn Minuten nachher war die Nadel fast auf Null zurückgekommen. In diesem Zustande konnte die Kette einem thermo-elektrischen Strome, der von einem Paare Antimon und Wismuth herrührte, keinen Weg gestatten. Diese negative Erscheinung kam von dem Dasein eines nicht leitenden unlöslichen Sulfürs auf dem Zinne her.

Blei und Platin. — Nimmt man Blei statt Zinn, so findet eine starke Abweichung, schnelle Abnahme Statt, und die Magnetnadel stellt sich wenige Augenblicke nachher wieder auf Null, und doch konnte ein schwacher thermo-elektrischer Strom cirkuliren, weil das Schwefelblei ein Leiter ist; bloß das Dasein dieser Mischung hielt die chemische Wirkung auf und vernichtete demnach die Ursache, welche Elektricität entwickelte. Wenn man Blei mit anderen Metallen verband, so erhielt man ganz ähnliche Erscheinungen.

So wie man annimmt, daß die chemische Wirkung die stromerzeugende Ursache ist, so ist es am Platze zu erforschen, ob, da die metallischen Contakte die nämlichen bleiben, die Ursachen, welche die chemischen Wirkungen verändern, nicht gleichfalls einen Einfluß auf die Intensität des Stromes äußern. Bereits hatte de la Rive durch seine Versuche wahrgenommen, daß die vergrößerte Wirkung eines Metallpaares, das in eine erwärmte Flüssigkeit getaucht wurde, großentheils von der Erhöhung der chemischen Wirkung herrühre. Um alle Zweifel über den chemischen Ursprung der elektrischen dem Contakte zugeschriebenen Erscheinungen zu zerstreuen, operirte Faraday bloß mit einem Metalle und einer Flüssigkeit, so daß die Kette nur aus einer erwärmten, aus einer kalten Flüssigkeit und einem Metalle bestand, ein Versuch, den wir schon lange nur nicht so umständlich gemacht hatten. Der Apparat bestand aus einer gekrümmten Glasröhre, welche 135 Millimeter in der Länge und 7 Millimeter im Durchmesser hatte und auf einem Gestelle so stand,

daß man nach Belieben einen der beiden Schenkel, in deren jeden man eine Metallplatte, die mit einem Galvanometer oder mit einem Antimon- und Wismuthpaare in Verbindung stand, tauchte, erwärmen konnte.

Wir übergehen mit Stillschweigen die Wirkungen, die man mit einem einzigen Metalle erhielt, weil sie nichts Besonderes darbieten und vollkommen zu dem gehören, was schon früher gesagt worden war; wir wollen aber den Fall nehmen, wo die beiden Metalle verschieden sind, und woraus complicirtere Erscheinungen entspringen. Man habe zum Beispiele zur Flüssigkeit verdünnte Schwefelsäure und zu Metallen einen Silber- und einen Platinadraht, so erhält man eine Abweichung von 4° in einer solchen Richtung, daß das Silber der Flüssigkeit die negative Elektricität entzog, was eine leichte chemische Wirkung auf das Metall verrieth. Durch Erwärmung des gesäuerten Wassers um das Platin herum, stieg die Abweichung auf 30° in derselben Richtung. Als man um den Silberdraht herum erwärmte, so wurde er negativer, die Nadel wich aber nur um 10° ab. Im ersten Falle mußte die elektrische Wirkung, welche aus der Reaktion der warmen Flüssigkeit auf die kalte entstand, die Intensität des Stromes vermehren, während in dem zweiten Falle, da die erwärmte Flüssigkeit auf das Silber kräftiger reagirte als die kalte, der daraus entstandene elektrische Strom über den den Sieg davon tragen mußte, welcher von der Reaktion der warmen Flüssigkeit auf die kalte herrührte, die einen Strom in entgegengesetzter Richtung hervorbrachte.

Die zahlreichen Beispiele, welche wir in diesem Kapitel angeführt haben, dürfen nun durchaus keinen Zweifel über die Unwirksamkeit des Contaktes der festen und liquiden Körper auf Elektricitätsentwicklung in allen Fällen zurücklassen, wenn diesen Contakt keine chemische, wärmeerregende oder mechanische Wirkung begleitet. Neue Beweise an die bisher angeführten

anzureihen, wäre zwecklos. Wir wollen die Untersuchung der elektrischen Erscheinungen fortsetzen, welche bei den chemischen Wirkungen vorkommen, um die Gesetze, nach welchen sie sich richten, gehörig kennen zu lernen und einfache elektro-chemische Apparate verfertigen zu können, welche eine mehr oder minder lange Zeit constante Ströme liefern.

Von den elektrischen Erscheinungen, welche von den chemischen Zersetzungen herrühren.

Es ist festgesetzt worden, daß bei der Verbindung einer Säure mit einem Alkali, die erste positive, das zweite negative Elektricität frei werden lasse. Bei den chemischen Zersetzungen sind die Erscheinungen umgekehrt. Um diese zu beobachten, geht man auf folgende Weise zu Werke: Man stellt auf eine Metallscheibe, die an einem Ende einer horizontalen und an der unteren Fläche eines Condensators angelötheten Stange befestigt ist, einen Platinatiegel, der vorläufig roth glühend gemacht wurde oder den man mit starken Linsengläsern erhitzt, und gießt in denselben die Flüssigkeit, mit welcher man operiren will. Statt der Kapsel bedient man sich mit größerem Vortheile dicker Platinlamellen, welche die ihnen mitgetheilte Wärme länger behalten. Gießt man einige Tropfen destillirten Wassers hinein, so erhält man keine Spur von Elektricität; demnach ist das Verdampfen allein keine Ursache der Entwicklung dieses Agens. Wenn das Wasser Strontian oder andere Basen enthält, so ladet sich die Kapsel mit einem Ueberschusse an positiver Elektricität und der Dampf nimmt die negative Elektricität an. Diese Erscheinung findet jedoch nur in dem Augenblicke Statt, wo das Verbindungswasser entweicht. Die Erscheinungen sind bei dem mit Wasser verdünnten Ammoniak umgekehrt. Da bei diesem letzteren Versuche das

Ammoniak leichter verdampft, als das Wasser, so nimmt es die positive Elektricität mit sich und läßt dem Wasser und demnach der Kapsel die negative. Die Wirkungen sind demnach die Umgekehrten von denen, welche bei den Verbindungen stattfinde. Wenn das Wasser eine Säure enthält und diese verdampft, so nimmt sie die negative Elektricität mit sich; eine gleichfalls umgekehrte Erscheinung von der, die man in den chemischen Verbindungen erhält. Um die elektrischen Erscheinungen deutlich zu sehen, so operirt man mit dem doppelt kohlensauren Natron, das man in die glühende Kapsel wirft; dieses Salz zersetzt sich und läßt Kohlensäure entweichen. Die Kapsel besitzt einen starken Ueberschuß an positiver Elektricität, während die Säure die negative Elektricität mit sich nimmt. Wenn man das doppelt kohlensaure Salz durch Kochsalz ersetzt, so knistert das Salz ab, und das Krystallisationswasser nimmt die positive Elektricität mit sich fort.

Peltier hat einen Umstand genau bestimmt, der zu Erzeugung des Phänomens, das wir anzugeben im Begriffe sind, unerläßlich ist. Wenn man einige Tropfen Wasser auf ein dickes schwach gewölbtes Stück Platin, dessen Temperatur man vermittelst einer Lampe erhöht hat, gießt, so zeigen sich verschiedene Erscheinungen, welche in Beziehung auf die Gestalt und die Bewegung des Wassers den Physikern bekannt sind. Wir führen bloß an, daß es nach verschiedenen Drehungen das Platin endlich naß macht, sich abplattet und verdampft, ohne daß eine Elektricität zum Vorscheine kommt, wenn das Wasser vollkommen rein und das Platinastück ganz sauber ist. Bei einer nicht sehr verdünnten Kochsalzauflösung ist die Wirkung das erste Mal die nämliche; aber das von dem Wasser zurückgelassene Salz bildet alsdann eine leichte Schichte auf dem Platin; fügt man eine neue Menge Wasser hinzu, so wird

jene Schichte von demselben wieder aufgelöst; von dem Augenblicke an, wo der Tropfen in Folge der Verdampfung an Volumen abnimmt, wird er beinahe undurchsichtig und man sieht, wie sich eine Menge kleiner Krystallfäden in seinem Innern bewegt. Bald darauf hört man ein schwaches Knistern, welches salzige Würfe begleiten. Das Gefäß wird alsdann negativ; ist aber die Temperatur sehr niedrig, um ein Naßmachen zu gestatten, so hört das Knistern auf, der Tropfen dehnt sich aus, das Wasser verwandelt sich in Dampf und die Elektricität entweicht mit demselben. Die Erscheinung nimmt in dem Verhältnisse zu, je dichter die Salzschichte ist, und sie steht mit dem Knistern in Verbindung. Das Salz, welches ohne wässerige Schmelzung verknistert, bringt dieselbe Erscheinung hervor.

Operirt man mit salpetersaurem Ammoniak, so findet wässerige Schmelzung, Verdampfung ohne Elektricitätserzeugung, sodann Verknistern und Elektricitätsentwicklung Statt. Bei Peltier's Versuchen tritt Elektricitätserzeugung gleich bei der Trennung der verbundenen Wassermoleküle ein; sie zeigte sich also während der chemischen Zersetzung. Diese Beobachtung stimmt zwar bis auf einen gewissen Punkt mit Pouillet's Ansicht überein, weil während der Verdampfung des destillirten Wassers in einem vollkommen reinen Gefäße keine Elektricitätsausströmung stattfindet. Dies ist eine Thatsache, welche für die Wissenschaft gewonnen ist; in Beziehung auf| die elektrischen Erscheinungen aber, welche bei den Zersetzungen vorkommen, findet eine Verschiedenheit in der Ansicht dieser beiden Physiker Statt; man muß bloß, da die Wirkungen in beiden Fällen constant sind, annehmen, daß das Knistern, das sonst die Trennung des combinirten Wassers genannt wurde, das Maximum der Erscheinungen gebe.

Wir sind nun auf eine ganz natürliche Weise da-

hin geleitet, von der Elektricitätsentwicklung bei der Ausdehnung des Dampfes der Kessel der Lokomotiven zu sprechen.

Von der Elektricitätsentwicklung bei der Expansion des Dampfes der Dampfkessel.

Man hat in den neuesten Zeiten eine beträchtliche Elektricitätsentwicklung in dem Dampfstrahle eines Kessels beobachtet; eine wegen der Intensität ihrer Erscheinungen und der Umstände, unter welchen sie vorkommt, merkwürdige Thatsache. Diese Thatsache, die zum ersten Male von Armstrong in dem Hüttenwerke zu Sighilles bei New-Castle beobachtet wurde, ist seitdem der Gegenstand der Forschungen von Seite mehrerer Personen geworden. Der Dampfkessel, der zur Beobachtung diente, hatte nichts Besonderes in seinem Baue, bloß an dem unteren Theile der Klappe befand sich ein Rondell, das durch Schließbolzen fest gemacht war. Diese Klappe war von der Kesselwand durch einen Kitt getrennt, der aus Kreide, Oel und Werg bestand, damit er so gut als möglich schließe. Da sich eine Ritze in diesem Kitte gebildet hatte, so kam ein Dampfstrahl heraus, der so elektrisch war, daß man, wenn man eine Hand hinein hielt und die andere auf den Hebel der Klappe hielt, jedesmal, wenn man die Verbindung unterbrach, einen glänzenden Funken hervorbrechen sah. Man fühlte eine heftige Erschütterung in dem Arme. Diese Erscheinungen blieben die nämlichen, an welchem Punkte man auch den Kessel berühren mochte. Als dieser einige Zeit nachher gereinigt wurde, so fand man eine starke Kalkrinde, welche weggeschafft wurde; man ließ den Kessel wieder funktioniren, und die elektrischen Erscheinungen waren weniger auffallend, obschon noch ziemlich merklich, um einen deutlichen Funken und einen Schlag in dem Arme her-

vorzubringen. Dadurch wurde bewiesen, daß das Dasein der Rinde eine von den vielleicht nicht unerläßlichen Ursachen zu Erzeugung der Erscheinung war, die aber doch nothwendig war, ihre Intensität zu vermehren.

Sobald als diese Thatsache bekannt war, wiederholte man überall den Versuch Armstrong's, welcher selbst mit allen Umständen abwechselte, um auf die Ursache davon zu kommen. Bevor wir die Erscheinung zu erklären versuchen, wollen wir mit der Darlegung aller Thatsachen beginnen. Man fand zuerst, daß, wenn man sich auf einen Isolirschemel stellte, die Funken, so wie die Erschütterung eine größere Intensität erlangten. Der Dampf war positiv, der Kessel behielt also die negative Elektricität. Man lud eine Leydnerflasche, welche mehreren Personen, die eine Kette bildeten, starke Erschütterungen mittheilte. Die Menge der durch den Dampfstrahl fortgepflanzten Elektricität nahm mit der Beschwerung der Klappe zu oder ab.

Als man den Versuch mit dem Dampfstrahle eines Kessels einer Maschine mit hohem Drucke, die mit reinem Wasser gespeist wurde, wiederholte, so waren die Erscheinungen Null; demnach schien die Bildung oder das Dasein einer Rinde in dem Kessel in diesem Falle eine unerläßliche Bedingung für die Hervorbringung des Phänomens zu sein, das man mit um so größerem Interesse zu untersuchen hat, als es mit den elektrischen Erscheinungen, welche gewöhnlich die Windwirbel und die Gewitter begleiten, Aehnlichkeit zu haben scheint.

Amstrong begann seine Versuche aufs Neue, bediente sich dazu des Kessels einer Lokomotive und operirte fast immer bei Nacht, damit die Lichterscheinungen sichtbarer wären. Er stellte sich auf einen Isolirschemel und hielt mit der einen Hand einen Eisenstab, der unmittelbar über der Klappe ange=

bracht war, wenn der Dampf entwich, und brachte die andere Hand an einen Conduktor, der mit dem Kessel in Verbindung stand; er erhielt Funken, die einen (englischen) Zoll lang waren; als er den Stab über die Klappe hob, ihn aber immer in dem Dampfe ließ, brachte er es auf einen Punkt, wo die Funken zwei Zoll Länge hatten. Die Erscheinung schien ihm der Dampfmenge, welche durch die Klappe entwich, proportional zu sein. Er hatte jedoch noch keinen strengen Versuch angestellt, um sich zu versichern, bis zu welchem Punkte dieses Gesetz richtig sei. Wenn die Klappe rasch geöffnet wurde, so wurden die Ränder des Hebels und des Rondells leuchtend.

Pattinson wiederholte den so eben beschriebenen Versuch und gab die Umstände der Erzeugung des Phänomens genau an. Der Dampf kam zuerst aus einer Klappe, die sich unter dem Drucke von 52 Pfund auf den Zoll befand: die Funken hatten alsdann drei Zoll Länge. Als er sich sodann wie Armstrong auf einen Isolirschemel gestellt hatte, und der mit einer Spitze versehene Conductor in den Dampf eintauchte, so wurden die Funken um so länger, je länger die Klappe verschlossen blieb. Wenn man nach Verlauf von einer oder zwei Minuten des Verschließens die Klappe rasch aufhob, so hatten die Funken vier Zoll Länge. Als der Druck nur noch vierzig Pfund auf den Zoll betrug, so wurden die Funken kleiner und die längsten hatten nicht mehr als drei Zoll, bei zwanzig Pfund betrugen sie nur einen Zoll, bei zehn Pfunden $1/4$ bis $1/2$ Zoll, bei fünf Pfund waren sie beinahe unsichtbar. Bei allen diesen verschiedenen Drucken aber nahmen die Erscheinungen jedesmal zu, wenn man die Klappe einige Zeit lang verschlossen gelassen hatte. Eben so verhielt es sich, wenn der Kessel mit Stücken von getrocknetem Holze isolirt war.

Pattinson zog aus der Reihe seiner Versuche den Schluß, daß sich die Elektricität in dem Augenblicke

zu erzeugen scheine, wo das Wasser sich in Dampf verwandle, indem dieser die positive, das Wasser und der Kessel die negative Elektricität annehme; ein Schluß, der nach Pouillet's vorhin erwähnten Versuchen nicht angenommen werden kann; er bemerkte überdies, daß der feuchte Dampf wenig Elektricität erzeuge. Die kräftigsten bis jetzt beobachteten Erscheinungen wurden in Kesseln hervorgebracht, welche durch kupferne Röhren erhitzt wurden.

Um die Frage besser aufzuhellen, nahm Armstrong, der die zu Grunde liegende Thatsache entdeckt hatte, seine Versuche in der Hoffnung wieder vor, die Ursache und die Gesetze der Erscheinung aufzufinden; sein Bestreben hatte aber nicht den gehofften Erfolg. Nach ihm erhellt aus denselben, im Widerspruche mit dem bereits Gesagten, daß ein Dampfstrahl bei hohem Drucke nicht viel elektrischer sei, als ein Dampfstrahl bei niederem Drucke; nur ist die von dem ersten gelieferte Elektricität leichter zu sammeln; bei Isolirung des Kessels nimmt die positive Elektricitätsmenge ab. Folgendes ist die neue Reihe der angestellten Versuche.

Als auf einen Hahnen, der an dem Kessel angebracht war, eine gläserne Röhre gesteckt wurde, so sah man die Funken längs der Röhre hin blitzen, wenn man den Hahnen öffnete; diese Funken wurden von der Wolke an bemerkt, welche der Dampf außen bis zum Hahnen bildete und dies war der Fall, der Kessel mochte isolirt sein oder nicht. Die Wände der Röhre waren nicht feucht.

Armstrong leitete von der Fortpflanzung der Elektricität des Strahls am Hahnen den Schluß ab, daß sich die positive Elektricität des Dampfes nur dann zeige, wenn dieser sichtbar werde. Es scheint uns, daß dieser Schluß nicht mit der vorher erwähnten Thatsache übereinstimme, daß nämlich das elektrische Leuchten um die Klappe herum sichtbar sei. Gewiß ist es, daß, wenn sich die Funken in der Röhre, wenn

man von dem oberen Ende ausgeht, zu zeigen anfangen und bis zum Hahnen aufeinander folgen, die Thatsache bei Erklärung der Erscheinung in Erwägung zu ziehen ist; für den Augenblick aber wollen wir uns nicht damit beschäftigen und die Prüfung der Thatsachen fortsetzen, um die zu dieser Erklärung erforderlichen Belege zu erhalten.

Schafthäutl stellte Untersuchungen über denselben Gegenstand an; er bediente sich aber eines Apparates, der jedem Physiker zu Gebote steht. Er nahm eine hohle eiserne Kugel von fünf englischen Zollen im Durchmesser, welche Quecksilber, in welches eine Röhre tauchte, die zum Manometer diente und darüber destillirtes Wasser enthielt. In das Innere dieser Kugel tauchte ein Thermometer ein, dessen Röhre durch die Kugelfläche ging. Die Schichte destillirten Wassers, die sich über dem Quecksilber befand, hatte einen und einen Viertelszoll Dicke (englisches Maß). In der Richtung des Dampfstrahles und in einer Entfernung von ungefähr neun Zollen von der Mündung des Hahnen befand sich eine gläserne Glocke von neun Zoll im Durchmesser und fünf Zoll Höhe, in welcher die Endpunkte von zwei Kupferdrähten, die mit einem einzigen Drahte von demselben Metalle in Verbindung standen, ausliefen. Als das Wasser ins Kochen kam und das Manometer einen Ueberschuß des Druckes von 31 englischen Zollen anzeigte, so wurde der Hahn geöffnet: der Dampf stürzte sich in die Glocke, verdichtete sich darin und lieferte in einigen Sekunden Elektricität genug, um die Goldplättchen eines condensirenden Elektroskops, das mit einem Kupferdrahte in Verbindung stand, zum Divergiren zu bringen. Eben so verhielt es sich, wenn der überschüssige Druck 23 Zoll betrug. Das zu dem Versuche gebrauchte destillirte Wasser hatte eine röthliche Farbe angenommen, welche von dem Vorkommen des Eisenoxyds herrührte; es wurde durch eine Kochsalzauflösung, sodann durch

destillirtes Wasser ersetzt und alsdann erhielt man keine Elektricität. Dieser Versuch wurde mehreremale mit destillirtem Wasser wiederholt, indem man die innere Fläche sorgfältig reinigte, und immer waren die Erscheinungen negativ; man erhielt sie nur, wenn man in die Kugel genau die nämliche Menge Wasser that, welche zu dem ersten Versuche gebraucht wurde. Schafthäutl glaubte, daraus schließen zu müssen, daß die Erscheinung dem sehr zertheilten Wasser, das der Dampf mit sich fortreißt und das sich an den Wänden der Glasglocke verdichtet, zugeschrieben werden müsse. Ein eigenthümliches Geräusch, das der Dampfstrahl hervorbrachte, war der Anzeiger der Erscheinung.

Dieser Beobachter ging noch weiter: er behauptete, daß es zu Hervorbringung der Erscheinung nicht hinreichend sei, daß sich der Dampf in Gestalt eines Nebels verdichte, sondern daß es nothwendig sei, daß er liquid werde. Nach ihm gelingt der Versuch gleichfalls gut, wenn das Wasser Kochsalz oder schwefelsauren Kalk enthält, wenn nur die gehörige Flüssigkeitsmenge da ist. Er schrieb die freigewordene Elektricität einzig und allein der plötzlichen Verdichtung des Dampfes und der Trennung des gebildeten Wassers zu, indem der verdichtete Dampf die positive Elektricität annimmt und die negative an dem Kessel bleibt. Einige Modifikationen abgerechnet, theilen diese Ansicht mehrere englische Physiker.

Da die vorhergehenden Versuche Armstrong zu Erklärung der Erscheinung noch nicht befriedigend erschienen, so nahm er diese Frage wieder auf, und stellte neue Versuche an, wovon mehrere interessant sind.

Er verdichtete Luft unter einem Drucke von acht Atmosphären in einem Gefäße mit sehr starken Wänden, das etwas weniger als sieben Liter enthielt und mit einer Glasröhre versehen war, durch welche die Luft entweichen sollte; das Gefäß wurde auf ein

Isolatorium gestellt. Als er den Hahnen umgedreht hatte, um die Luft entweichen zu lassen, so erhielt er das erste Mal kein Resultat. Bei einem zweiten Versuche wurde das Glas so stark negativ, daß er Funken von $1/4$ Zoll Länge aus demselben ziehen konnte. Dieser Versuch wurde oft mit gleichem Erfolge wiederholt. Die Elektricität des Gefäßes, obgleich gewöhnlich negativ, wie bei dem Dampfe, war doch bisweilen positiv; es mußten daher Fälle vorkommen, wo keine Elektricitätsentwicklung stattfand, wenn das Gefäß aus dem negativen in den positiven Zustand überging. Der Versuch gelang bei einer kalten und etwas feuchten Witterung besser als wenn sie trocken und warm ist. Dieser Umstand ist zu bemerken, denn er scheint zu der Annahme zu berechtigen, daß die Gegenwart des Wassers in der Luft eine von den Ursachen zu Erzeugung der Erscheinung sein möge, auch ist diese Vermuthung Armstrong nicht entgangen.

Bei dem vorhergehenden Versuche möchte es scheinen, daß der Einfluß der Gegenwart des in Dampf verwandelten Wassers so beschaffen ist, daß, wenn der Recipient vollkommen trocken und so erwärmt ist, daß man die Hand nicht mehr hineinhalten kann, das Herausströmen der Luft keine Elektricität erzeugt. Ist das Innere des Recipienten feucht, so kann man die Spuren der Elektricität nur dadurch zum Verschwinden bringen, daß man die Temperatur noch mehr erhöht; ist diese niedrig, so trägt die Gegenwart des Wassers wenig zu den elektrischen Erscheinungen bei. Als Armstrong das Innere eines Recipienten vollständig getrocknet hatte, so brachte er in denselben eine gewisse Menge Kali, um der verdichteten Luft das in ihr enthaltene Wasser zu entziehen, er comprimirte sodann aufs Neue Luft, und stellte den Apparat zwölf Stunden lang an einen kalten Ort, um dem Kali Zeit zu lassen, seine

Wirkung auszuüben. Als der Versuch sodann angestellt wurde, so waren die Erscheinungen die nämlichen als ob man gar keine Vorkehrungen getroffen hätte, die Feuchtigkeit fortzuschaffen.

Die Versuche wurden wieder mit einem Kessel begonnen, der 30 Zoll lang und vier Zoll breit war (engl. Maß); der Deckel hatte ein in Grade eingetheiltes Sicherheitsventil. Der Ofen stand auf vier Glasfüßen; eine kupferne Röhre ging von dem Deckel des Kessels aus in den Ofen, schlängelte sich in demselben mehreremale, ging seitwärts wieder heraus und endigte sich in einen Hahnen, wodurch man dem Dampfe, der bei seinem Durchgang durch die heiße Röhre trocknete, einen Ausweg verschaffte. Dieser Apparat gab ziemlich beträchtliche Erscheinungen und machte es möglich, die Umstände einzusehen, unter welchen der Kessel bald positiv, bald negativ war.

Die in dieser Hinsicht angestellten Versuche berechtigen zu der Vermuthung, daß der wärmeerzeugende Zustand des Theils des Kessels der mit dem Dampfe in Berührung ist, wahrscheinlich eine von den Ursachen der erzeugten Erscheinungen ist; denn nach Armstrong macht es der Bau des Ofens möglich, indem man seine Seitenthüre schließt, einen großen Zuwachs der Temperatur an dem oberen Theile des Kessels, wo sich der Dampf befindet, zu bewerkstelligen und alsdann nehmen fast immer die negative Elektricität des Kessels und die positive des Dampfes ab und verschwinden gänzlich; sodann erscheint die positive in dem Kessel und die negative in dem Dampfstrahle. Die Verminderung des Wassers würde auch die Anhäufung der Wärme in der Höhe des Kessels begünstigen und dieser Umstand ist für die Verwechslungen der Elektricitäten sehr geeignet. Wir glauben indessen, daß es andere Ursachen gibt, welche die Veränderungen der elektrischen Zeichen bewirken, unter andern der elektrische Zustand der

Röhre, der, da er derselbe wie der des Kessels ist, beständige Wiedervereinigungen der Elektricität hervorbringen muß.

Wir wollen sehen, welchen Einfluß der Druck auf die Erzeugung des Phänomens ausübe.

Um die comparative Intensität der Elektricität zu bestimmen, die bei verschiedenen Graden des Druckes durch den Dampf entwickelt wurde, hat man die Einrichtung getroffen, daß zu gleicher Zeit gleiche Gewichte von Dampf herausfahren; und zu dem Ende verringerte man die Oeffnung, durch welche die Entladung herauskam in dem nämlichen Verhältnisse als der Druck zunahm und umgekehrt. Die Sicherheitsklappe erfüllte diesen Zweck. Der Dampf mußte sich ferner, damit die Resultate vergleichbar wären, immer in dem nämlichen Zustande von Trockenheit befinden, was man dadurch erreichte, daß man das Feuer so mäßigte, um diesen Zweck zu erreichen. Man nahm zuerst das Ventil hinweg, um den Dampf frei ausströmen zu lassen; es zeigte sich keine der vorher beschriebenen Erscheinungen. Als das Ventil wieder angebracht und einem Drucke von etwas mehr als einem Pfunde auf den Quadratzoll unterworfen war, so fingen die Goldplättchen eines gehörig angebrachten Elektroskops an, Spuren von Elektricität zu zeigen, welche von der Ursache, die man untersuchte, herrührten. Als man in diesem Zustande den Druck nur sehr wenig verstärkte, so wurden die elektrischen Erscheinungen beträchtlicher; denn bei einem Drucke von drei Pfunden auf den Quadratzoll, zog man fünf bis sechs kleine Funken in der Minute heraus. Durch eine darauf folgende Verstärkung des Druckes nahm der Zuwachs der elektrischen Erscheinungen nicht so schnell zu, wie zuvor. Auf diese Weise wurde die unter dem Drucke von drei Pfunden erhaltene Elektricität erst dann verdoppelt, wann der Druck 15 Pfund betrug; sie betrug das Dreifache

bei 50 ℔ das Vierfache bei 120 ℔ und bei 250 ℔ war die Elektricität nur fünfmal stärker als bei drei Pfunden.

Man kann aus diesen Resultaten in Beziehung auf die Wirkung des Druckes nichts schließen, weil die Ursachen, welche eine Elektricitätsveränderung an dem Kessel bewirken, ganz zuverlässig im Spiele sein mußten.

Es folgen hier noch einige allgemeine Thatsachen, welche eine Erwähnung verdienen:

1) Eine beträchtliche Vermehrung des Drucks bringt immer in dem Kessel, welcher anfänglich positiv ist, einen temporären Uebergang in die negative Elektricität hervor, welcher eine oder zwei Minuten dauert, und sodann nimmt der Kessel seinen positiven Zustand wieder an.

2) Ist der Druck beträchtlich, so wird das negative Streben des Dampfstrahles auf dem Weg des Dampfes durch eine kupferne Röhre dergestalt vermehrt, daß man oft aus der Röhre einen negativen Dampfstrahl erhalten kann, während man einen andern, positiven aus dem Ventile erhält.

3) Man bringt die kräftigsten Erscheinungen hervor, wenn man den Dampf durch eine kurze, an dem Kessel befestigte gläserne Röhre entladet; ist die Röhre lang, so findet eine Abnahme in den Erscheinungen Statt. Im Allgemeinen ist die Elektricität schwächer, wenn der Kessel positiv und der Strahl negativ ist, als wenn sich beide in dem entgegengesetzten Zustande befinden.

Um zu erfahren, wie weit die Elektricität von der Expansion des Dampfes herrühre, stellte Armstrong den folgenden Versuch an: er befestigte einen Metallcylinder an dem Seitenhahnen, in den sich seine kupferne Röhre endigte; dieser Cylinder wurde gehörig warm erhalten, um jede Verdichtung des Dampfes im Inneren zu verhüten; sein oberes Ende hatte kleine

Oeffnungen, durch welche der Dampf entwich. Es trat keine Verminderung in der Elektricität ein. Dieser Versuch beweist also, daß die Expansion des Dampfes keine Ursache der Elektricitätsentwicklung ist; Armstrong schreibt sie der Niederschlagung des Dampfes zu.

Nach einem anderen Versuche ist die Elektricität, welche in dem Verdampfungsgefäße durch das Ausströmen des Dampfes hervorgebracht wird, von der begleitenden Verdampfung unabhängig. In diesem Falle ist das Wasser aus dem Kessel getrieben worden und doch war diese Elektricität immer positiv. Die folgenden Umstände müssen in der Theorie, die man über die Erscheinung aufzustellen versuchen wird, in Anschlag gebracht werden.

Es scheint, daß das Streben der Dampfwolke, negative statt positive Elektricität zu geben, in dem Verhältnisse zunehme, je länger man sich des Apparates bediente, bis endlich die positive Elektricität nur selten in dem Strahle erscheint.

Bei der Meinung, daß der negative Zustand der Wolke von der Oxydirung des Metalls herrühre, untersuchte man das Innere des Kessels und fand die Wand unversehrt. Der negative Zustand war derselbe, nachdem man sie mit Wasser gewaschen hatte; mit einer Kalilösung aber wurde der Strahl positiv.

Da er bei den darauffolgenden Versuchen eine geringe Menge Kali an das, den Dampf bildende Wasser that, so nahm die Intensität der Elektricität dergestalt zu, daß er mehr als dreißig Funken von einem halben Zoll Länge in einer Minute erhielt; mit dem Natron war die Erscheinung ähnlich, aber in einem geringeren Grade. Als man dafür eine kleine Menge Salpetersäure nahm, so wurde der Dampf negativ; die Schwefel- und Salzsäuren schienen keinen großen Einfluß auszuüben, selbst wenn

der Kessel Eisenfeilspäne enthielt, auf welche die Säuren wirken sollten. Der Kalk machte den Dampf positiv; das salpetersaure Kupfer wirkte beinahe wie die Salpetersäure. Kurz, die kräftigen Erscheinungen, die man erhielt wenn das Wasser Kali enthielt, brachten auf den Gedanken, daß man die gewöhnlichen Elektrisirmaschinen durch dampf-elektrische Apparate ersetzen könne.

Dies sind Thatsachen, welche bis jetzt in Beziehung auf die Elektricität vorgelegt wurden, welche in den Kesseln der Dampfmaschinen erzeugt wurde, wenn entweder durch das Ventil oder durch einen zu diesem Ende angebrachten Hahnen ein Strahl herausfährt.

Wenn man die zahlreichen und oft widersprechenden Erscheinungen, die wenigen streng genauen Versuche, um die Erscheinung so zu untersuchen, daß man ihre Gesetze erfaßt, bedenkt, so zeigen sich große Schwierigkeiten, die zahlreichen beobachteten Erscheinungen auf eine befriedigende Weise zu erklären. Wir wollen indessen versuchen, sie auf die bekannten Ursachen der Elektricitätsentwicklung zu beziehen; denn wenn eine noch nicht untersuchte Ursache vorhanden ist, so muß man eingestehen, daß die Frage noch nicht genug aufgehellt ist, als daß man bei der gegenwärtigen Lage der Dinge erkennen könne, welches wirklich diese Ursache ist. Wir haben gesehen, daß bei den chemischen, wärmeerregenden, molekularen und magnetischen Wirkungen Elektricitätsentwicklung stattfinde; dies sind die Pfeiler, auf welche wir uns bei der Erklärung des Armstrongschen Phänomens stützen müssen. Die Elektricitätsentwicklung bei der Dampfbildung ist lange ein Gegenstand des Streites unter den Physikern gewesen, weil der Versuch Resultate bald in dem einen, bald in einem andern Sinne lieferte. Als Pouillet zeigte, daß man, wenn man destillirtes Wasser in einem Gefäße aus Platina verdampfen ließ und dieses Wasser nach der

Reihe durch gesäuertes oder alkalinisch gemachtes Wasser ersetzte, keine oder elektrische Erscheinungen in zwei verschiedenen Richtungen erhalte, so löste er die Frage, und es wurde dadurch bewiesen, daß die Zustandsveränderung des Wassers keine Elektricität erzeuge, daß, da in dem zweiten Falle der Dampf negativ und in dem dritten positiv war, diese Wirkungen einer chemischen Zersetzung, d. h. der Trennung des Wassers von der Säure oder dem Alkali zugeschrieben werden müssen.

Um bei dem Versuche mit dem Dampfkessel seinen Zweck zu erreichen, muß das Wasser irgend ein Salz enthalten und es muß sich eine Kruste bilden, denn die Wirkung ist um so stärker, je beträchtlicher diese ist. Was aber das Phänomen complizirt macht, das sind: 1) die complicirten elektrischen Erscheinungen, die zuerst von der chemischen Wirkung der Flüssigkeit auf das Gußeisen oder das Metall entspringen, woraus der Kessel besteht; 2) aus der Trennung des Wassers von den Substanzen, die in demselben aufgelöst sind, und an welche man die Erscheinungen knüpfen muß, welche das Knistern begleiten; 3) von der Elektricität, welche von den thermo-elektrischen Erscheinungen herrührt, deren Ursache noch nicht ganz genau erkannt ist, und welche nach Armstrongs Beobachtungen dazwischen kommen, um das Zeichen des Kessels zu ändern, das, da es gewöhnlich negativ ist, in einigen Fällen positiv wird. Auf der anderen Seite macht der Versuch, welcher mit zusammengedrückter feuchter Luft angestellt wurde, auf ganz besondere Weise die Frage verwickelt; denn in diesem Falle kann man keine chemische Wirkung annehmen, weil die elektrischen Erscheinungen einzig und allein von dem Herausfahren der zusammengedrückten Luft durch eine enge Oeffnung herrühren. Vielleicht trägt auch das Reiben der Luft an den Metallwänden in etwas zu Erzeugung der Erscheinung bei.

Demnach ist es nicht befremdend, daß man noch keine befriedigende Erklärung von den elektrischen Erscheinungen gegeben hat, welche sich bei dem Ausströmen des Dampfes in den Maschinen der Kessel mit hohem und niederem Drucke zeigen, wenn man sieht, daß es vielleicht vier bekannte Ursachen gibt, welche bei der allgemeinen Erscheinung mitwirken. Man kann nur dann eine vollständige Erklärung erhalten, wenn man den Antheil der Wirkung einer jeden dieser Ursachen kennt. Wir haben mit sehr großer Ausführlichkeit die elektrischen Erscheinungen, welche das Ausströmen des Dampfes aus den Kesseln begleiten, wegen der Aehnlichkeit dieser Erscheinungen mit andern analogen, die sich in der Atmosphäre erzeugen, vorgetragen.

Von den elektrischen Erscheinungen bei dem Contakte der Gase und der nicht oxydirbaren Metalle.

Wenn eine Metallplatte in eine Flüssigkeit eintaucht, welche chemisch auf jene reagiren kann, so findet Elektricitätsentwicklung Statt, deren Gesetze man angegeben hat: diese Entwicklung ist Null, wenn die Platte nicht angegriffen wird, wofern sie nicht mit festen oder gasartigen Substanzen überzogen ist, welche chemisch auf die Flüssigkeiten reagiren können. Wir haben untersucht, was sich bei festen Substanzen ereignet, und haben demnach nur zu zeigen, wie sich die Gase verhalten.

Wenn man destillirtes Wasser mit zwei Platinplatten, welche in dasselbe eintauchen und mit einer Volta'schen Säule in Verbindung stehen, zersetzt, nach einigen Augenblicken die Verbindung unterbricht, und, nachdem man die beiden Platten von den Extremitäten der Säule losgemacht hat, diese mit einem Drahte verbindet, der mit einem Multiplikator in

Communikation steht, so erhält man einen Strom, welcher die entgegengesetzte Richtung von dem ersten hat, d. h. die Platte, welche ursprünglich der positive Pol war, wird der negative Pol und umgekehrt; diese Erscheinung zeigt sich auch wieder, wenn man mit einem einzigen Paare operirt. Folgendes ist die Erklärung, die wir schon lange von diesem Phänomene gegeben haben.

Wenn zwei Platinaplatten, die in eine Salzlösung eintauchen, einen Theil einer Volta'schen Kette ausmachen, so überzieht sich die Oberfläche der positiven Platte mit sauren Elementen und Sauerstoff und die Fläche der negativen Platte mit alkalinischen Elementen und Wasserstoff. Die beiden Platten befinden sich also in dem nämlichen Zustande, wie wenn die erste mit einer sauren Lösung in Contakt gesetzt wäre und die andere in eine alkalinische Lösung eintauchte; in beiden Fällen sind die Erscheinungen die nämlichen. Wir hatten den Versuch damit angestellt, daß wir eine Platte in eine Kalilösung und die andere in Salpetersäure thaten; Matteucci stellte ihn gleichfalls so an, daß er die Platten eine Zeitlang mit Wasserstoffgas und Sauerstoffgas in Contakt brachte; nachdem er sie sodann in destillirtes Wasser tauchte, so erhielt er beträchtliche Abweichungen; die mit Sauerstoff überzogene Platte nahm dem Wasser die positive Elektricität; diese beiden Gase veranlaßten also bei ihrer Reaktion auf das Wasser elektrische Erscheinungen, welche denen ähnlich waren, die man unmittelbar in der Verbindung des Sauerstoffs mit dem Wasserstoffe erhalten haben würde. Die Platten behielten lange diese Eigenschaft. Man muß sie, um sie ihnen nach Verlauf einiger Stunden zu entziehen, roth glühen lassen. Der Stickstoff verhält sich, wenn er einer Platinaplatte adhärirt, in Beziehung auf den Sauerstoff wie der Wasserstoff, und in Beziehung auf das let-

tere Gas wie der Sauerstoff. Wenn die Gold- oder Platinplatten secundäre Erscheinungen, wie die, von denen die Rede ist, hervorbringen, so sagt man, die Platten seien polarisirt. Man muß sich bei den feinen Versuchen vor dieser Polarisation in Acht nehmen, wenn Platten lange in Berührung mit der Luft geblieben sind, sonst schreibt man die bewußten Erscheinungen andern Ursachen zu.

Von den einfachen Apparaten mit constantem Strome.

Die Kenntnisse, welche wir über die elektrischen Erscheinungen, die sich bei den chemischen Wirkungen im Allgemeinen äußern, erlangt haben, waren unerläßlich, um die Theorie der einfachen elektro-chemischen Apparate mit constantem Drucke zu begreifen, welche dazu bestimmt sind, eine mehr oder minder lange Zeit zu funktioniren, so wie auch diejenigen, die sich auf die zersetzenden Wirkungen der elektrischen Ströme beziehen, von denen erst später die Rede sein kann. So lange man sich nur auf den Gebrauch einer Zink- und einer Kupferplatte beschränkte, die in gesäuertes Wasser eintauchten und vermittelst eines Metalldrahtes miteinander in Verbindung standen, erhielt man nur einen Strom, dessen Intensität schnell abnahm, so daß er, wenn man seine Wirkung fortdauern ließ, nach Verlauf einer gewissen Zeit unvergleichbar schwächer als anfangs war. Um diesem Nachtheile zu begegnen, muß man die Apparate so einrichten, daß die chemische Wirkung immer auffallend constant sei und daß sich die Platten nicht so polarisiren, daß sie einen Gegenstrom hervorbringen, welcher die Wirkung des ersten aufheben könnte. Wir wollen jetzt die Apparate beschreiben, welche einigen von den verlangten Bedingungen entsprechen.

Der erste Apparat besteht aus zwei gläsernen Bechern, wovon der eine eine concentrirte Aetzkalilösung, und der andere gleichfalls concentrirte Salpetersäure enthielt. Die beiden Gefäße stehen vermittelst einer gekrümmten Glasröhre, die mit Kaolin oder von kohlensaurem Kalke freien Thone angefüllt ist, der mit einer Salzlösung angefeuchtet wurde, miteinander in Verbindung. In den Becher, worin sich das Alkali befindet, taucht eine Goldplatte ein; in den andern eine Platinplatte. Wenn man die beiden Platten durch Gold- oder Platindrähte in Verbindung bringt, so erhält man einen ziemlich kräftigen Strom, der von der Reaktion der Säure auf das Wasser und das Kochsalz einerseits, des Kali auf das Wasser und das Kochsalz andererseits herrührt. Die Richtung des Stromes zeigt, daß die in das Alkali eingetauchte Platte die negative und die in die Säure eingetauchte Platte die positive Elektricität annimmt; das mehrere Tage anhaltende Permanente in der Intensität des Stroms gibt zu erkennen, daß die Flächen der Platten nicht polarisirt sind und es ist auch wirklich leicht, dies zu beweisen. Während dieser Apparat funktionirt, wird das salpetersaure Kali, das sich jeden Augenblick bildet, durch die Wirkung des Stroms zersetzt; die Säure wird an den positiven Pol geschafft, welcher die in das Kali eintauchende Platte ist, während das Kali auf die negative Platte geführt wird, welche in die Säure eintaucht. Da sich nun die verpflanzten Säure und Alkali einerseits mit dem Kali, andererseits mit einer Säure im Contakte befinden, so verbinden sie sich unmittelbar mit den umgebenden Flüssigkeiten, so daß die Platten immer vollkommen gereinigt sind; nun kann keine secundäre Erscheinung stattfinden. Der Strom nimmt nur dann an Intensität ab, wenn das sich nach und nach bildende salpetersaure Kali in ziemlich großer Menge in der Verbindungsröhre krystallisirt und die

Cirkulation des Stroms unterbricht; in diesem Falle muß man den Thon vertauschen, ein Nachtheil, dem man dadurch ausweicht, daß man den Apparat folgendermaßen einrichtet: die Zwischenröhre ist an dem Knie tubulirt; die beiden Ende der Röhre enthalten nur eine geringe Menge Thon, der vermittelst einer sehr dünnen und mit Löchern versehenen Platinaplatte, um den Strom durchzulassen, zurückgehalten wird. Der übrige Theil der Röhre ist mit Salzwasser angefüllt, das man nach Belieben verändern kann. Man kann auch die beiden Ende der gekrümmten Röhre, indem man sie nicht so lang macht, in zwei Platinaröhren stecken, um eine größere Menge der in der Reaktion der Flüssigkeiten frei gewordenen Elektricität zu sammeln, alsdann muß man es aber vermeiden, daß sie mit Gold gelöthet werden, weil das Königswasser, das sich bei der Reaktion der Salpetersäure auf das Kochsalz bildet, dieses Metall angreifen würde.

Man kann noch eine andere Einrichtung treffen, welche bei Versuchen im Kleinen Vortheile zeigt. Man bringt Thon in eine Uförmig gekrümmte gläserne Röhre, welche einen bis zwei Decimeter lang und einen Centimeter weit ist, so daß er mehrere Centimeter von dem gekrümmten und mit Salzwasser aber so angefeuchteten Theile einnimmt, daß er keinen zu flüssigen Teig bildet. In der Mitte der Biegung befindet sich eine kleine Oeffnung; in den einen von den Schenkeln gießt man Salpetersäure und in den andern eine Kalilösung; man taucht nun die Röhre in ein Gefäß, das Wasser enthält, dessen Spiegel der nämliche wie der der andern Flüssigkeiten ist. Man bringt sodann Platinaplatten in die Säure und in das Alkali; das Wasser ist dazu bestimmt, das salpetersaure Kali, so wie es sich bildet, wegzuschaffen. Diese Einrichtung kann auch noch dazu dienen, kleine

Paare mit constantem Strome, deren Zusammensetzung sogleich angegeben werden soll, zu bilden.

Daniels Apparat zeigt auch Vortheile, weil die Kraft desselben größer ist, aber nicht die Regelmäßigkeit der Wirkung. Die Grundsätze, auf welchen seine Verfertigung beruht, sind die früher angegebenen. Dieser Apparat ist auf mannigfaltige Weise modifizirt worden; wir wollen jetzt die in den meisten Fällen angenommenen Einrichtungen angeben: ab (Fig. 10. Taf. 6) ist ein hohler, an beiden Enden verschlossener kupferner Cylinder; er wird mit Sand beschwert, damit er nicht in der Flüssigkeit schwimme; an seinem oberen Theile löthet man einen Kupferstreifen von einigen Centimetern an, der mit Löchern versehen ist und einen Kranz bildet, in welchen man Stücke schwefelsauren Kupfers legt; der Cylinder wird in einen Sack von Goldschlägerhaut oder Segeltuch gesteckt, man umgibt ihn mit einem Cylinder von amalgamirtem Zink und das Ganze taucht in einen Becher MN ein. Die Scheidewand, in welcher sich der Cylinder befindet, wird mit einer gesättigten Auflösung von schwefelsaurem Kupfer bis an die Höhe des Kranzes so gefüllt, daß sich die Auflösung, welche sich mit den Krystallen von schwefelsaurem Kupfer in Berührung befindet, immer in dem Zustande der Sättigung befinde. In dem Becher ist eine Lösung Salzwasser in gehöriger Menge, daß die beiden Flüssigkeiten immer wasserrecht sind. Das Salzwasser ist dem gesäuerten Wasser vorzuziehen, weil es den Apparat länger funktioniren läßt, nur die Kraft ist geringer. An dem obern Theile eines jeden Cylinders, Kupfer oder Zink, ist ein Anhängsel angelöthet, wodurch es möglich wird, die Verbindung mit den Körpern herzustellen, die man der Wirkung eines elektrischen Stromes unterwirft. So wie die Kette geschlossen ist, so entspringt daraus ein Strom, in Folge dessen der Zinkcylinder der positive

und der Kupfercylinder der negative Pol des Paares wird; das schwefelsaure Kupfer wird zersetzt, das Kupfer setzt sich auf dem Cylinder ab, dessen beständig glänzende Fläche nicht polarisirt ist. Das amalgamirte Zink wird wegen seiner Eigenschaften nicht sehr polarisirt, so daß sich der Strom an Intensität nicht sehr verändert. Obgleich dieser Apparat häufig angewandt wird, so hat er doch einen Nachtheil; man sammelt nur die Elektricität, welche bei der Reaktion der Flüssigkeit auf eine von den Zinkflächen frei wird. Man kann aber diesem Umstande dadurch abhelfen, daß man das Paar auf folgende Weise bildet: man richtet einen kupfernen Trog AB (Fig. 11) her, der mit zwei hohlen, schräg zulaufenden Anhängseln ab, a'b' versehen ist, die mit dem Inneren des Troges durch mehrere Oeffnungen in Verbindung stehen und mit schwefelsaurem Kupfer angefüllt sind. Eine amalgamirte Zinkplatte MN kommt in einen Sack von Segeltuch, in C und D sind zwei Anhängsel angelöthet. In den Trog AB gießt man eine Auflösung von schwefelsaurem Kupfer und Salzwasser in den Sack, der zur Scheidewand dient; sodann werden das Zink und seine Scheidewand in den Trog gestellt. Bei dem Schließen der Kette erhält man einen sehr kräftigen Strom. Dieser Apparat gestattet es, weit mehr frei gewordene Elektricität zu sammeln, weil jede Fläche der Zinkplatte einer Kupferfläche gegenübersteht. Dies ist die beste Einrichtungsweise. Wenn man nach den Wirkungen, die man zu erhalten beabsichtigt, der Volta'schen Thätigkeit mehr Stärke verleihen will, so taucht man den Becher ins Wasser, dessen Temperatur man erhöht. Bei 60° oder 80° ist die Reaktion des Salzwassers auf das Zink so, daß die zersetzende Wirkung des Paares energisch ist.

Der folgende Apparat hat große Vorzüge. Man gebraucht als Scheidewand einen Cylinder aus halb-

gebrannter Erde, den man mit flüssigem Zinkamalgame füllt, in welches eine Platinplatte eintaucht, die an einem Drahte aus demselben Metalle befestigt ist. Der Cylinder wird in einen Becher gestellt, der eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Kupfer enthält, in welcher ein kupferner, die Scheidewand umgebender Cylinder ist. Schließt man die Kette, so veranlaßt die Reaktion des schwefelsauren Kupfers auf das Amalgam einen Strom, dessen Wirkung man auf eine nützliche Art verwendet; unter den Apparaten mit constantem Strome, hat dieser die meisten Vorzüge, denn er kann eine sehr lange Zeit hindurch funktioniren. Das verbrauchte Zink wird durch Stücke von demselben Metalle ersetzt, die man in den Cylinder thut, in welchem sich das Quecksilber befindet.

Oft ist es, wenn man den Apparat nicht sehr lange funktioniren lassen will, bequemer, das durch die Schwefelsäure gesäuerte Wasser zu gebrauchen, und in dasselbe bloß eine amalgamirte Zinkplatte und eine Kupferplatte, welche die beiden Zinkflächen nach Art der Wollaston'schen Paare (Fig. 12) umgibt, zu tauchen. Vermittelst der an den beiden Platten fest gemachten Anhängsel bringt man sie mit den Substanzen in Verbindung, auf welche man operiren will. Man kann leicht andere Einrichtungen erfinnen; sie lassen sich aber alle auf die so eben beschriebenen zurückführen: wir haben es uns zur Pflicht gemacht, diejenige anzuzeigen, welche bei den wissenschaftlichen Forschungen und den Anwendungen auf die Künste die größten Vortheile gewähren.

Durch die Vereinigung mehrerer Apparate und dadurch, daß man das Kupfer des einen Paares mit dem Zinke des andern in Verbindung bringt, bildet man Säulen, mit denen wir uns später beschäftigen werden, weil wir in diesem Kapitel nur von der Entwicklung der Elektricität und der Verfertigung einfacher elektro-chemischer Apparate sprechen wollten.

deren Kenntniß zu Erklärung der Wirkungsweise die Apparates, dessen Entdeckung man Volta's Genie verdankt, unerläßlich ist.

Von den elektrischen Erscheinungen durch die chemische Wirkung des Sonnenlichtes.

Man muß bei den chemischen Erscheinungen, welche unter dem Einflusse des Sonnenlichtes hervorgebracht werden, die nämlichen elektrischen Erscheinungen wieder finden, welche die chemischen Wirkungen im Allgemeinen begleiten. Die ersten Forschungen, um diese Erscheinungen zu beobachten, sind von meinem Sohne Edmund angestellt und im Juli 1839 herausgegeben worden. Er hatte bemerkt, daß, wenn man einen Büschel Sonnenstrahlen auf zwei, sorgfältig über einandergelegte Flüssigkeiten, die chemisch auf einander wirken, reagiren lasse, sich ein Strom entwickle, den ein sehr empfindlicher Multiplikator anzeige, dessen beide Extremitäten mit zwei Platinaplatten in Verbindung stehen, die in die Auflösungen eintauchen. Das beobachtete Phänomen war zusammengesetzt, weil es durch die Wirkung des Lichtes auf die Platinplatten complizirt wurde; mein Sohn wurde auf diese Weise veranlaßt, eine Reihe von Versuchen in Betreff der Wirkung der Sonnenstrahlen auf die Platten nicht oxydirbarer Metalle anzustellen.

Wenn zwei Platinplatten, die mit einem Galvanometer in Verbindung stehen, in eine leitende Flüssigkeit eintauchen, so findet nie eine elektrische Wirkung Statt, wenn die Platten sehr rein sind und dieselbe Temperatur besitzen; so wie sich aber nur eine geringe Temperaturverschiedenheit zeigt, so erzeugt sich ein Strom, dessen Intensität und Richtung von der Natur der Flüssigkeit und der der Platten abhängt. Da nun das Phänomen wieder zum Vorschein kommt, wenn man zwei Platin- oder Gold-

platten, welche in eine saure, neutrale oder alkalinische Lösung eintauchen, auf eine ungleiche Weise den Sonnenstrahlen aussetzt, so handelt es sich davon, zu sehen, wie weit die wärmeerregende Ausstrahlung in Hervorbringung der Erscheinung wirke. Zu dem Ende darf man nicht aus dem Auge verlieren, daß eine erwärmte Platte in Beziehung auf eine kalte negativ ist, wenn man beide in das Wasser oder in eine alkalinische Lösung taucht, indem diese Platten metallisch mit einander in Verbindung stehen, während das Gegentheil in einer Säure stattfindet. Da die Erscheinungen durch den Contakt einer kalten Flüssigkeit mit einer warmen die nämlichen sind, so kann man daraus schließen, daß das Eintauchen einer erwärmten Metallplatte in eine Flüssigkeit, die flüssige diese Platte umgebende Schichte erwärme; woraus ein elektrischer Strom entsteht, der von der Reaktion der warmen Schichte auf die umgebende Flüssigkeit herrührt.

Um die Wirkungen der Sonnenstrahlung zu beobachten, bedient man sich des folgenden Apparates (Taf. 6. Fig. 13), der aus einer hölzernen, inwendig geschwärzten und durch eine sehr dünne Haut in zwei Fächer eingetheilten Kapsel besteht, die man mit der Probelösung anfüllt; in jedes derselben taucht eine Platte von Gold oder Platin, deren Oberfläche vorläufig roth glühend gemacht wurde; diese Platten werden mit einem langdrahtigen Mulitplikator in Verbindung gebracht und horizontal gelegt, um sie dem Einflusse der Sonnenstrahlung besser auszusetzen. Jedes Fach ist mit einem beweglichen Brettchen, das einen Deckel bildet und das man wegnimmt, wenn man operiren will bedeckt. Wenn die Fächer eine alkalinische Lösung enthalten, so findet man, daß die den Sonnenstrahlen ausgesetzte Platte der Flüssigkeit die negative Elektricität entzieht; bei einer sauren Lösung tritt das Umgekehrte ein. In dem ersten

Falle ist die Abweichung von 2° bis 3°; in dem zweiten von 6° bis 7°. Man könnte glauben, daß diese Erscheinungen von der wärmeerregenden Kraft der Sonnenstrahlen herrühre; dem ist aber nicht so, wie man dies leicht sehen kann, wenn man in Beziehung auf die hervorgebrachten elektrischen Erscheinungen die Ordnung der Schirme von gefärbtem Glase, die nach einander auf den Apparat gelegt werden, mit der Ordnuug eben dieser Schirme, die auf die beiden Pole einer thermo-elektrischen Säule gelegt werden, vergleicht, denn man findet alsdann, daß die Wirkung nicht von den wärmeerregenden Strahlen herrühre.

Um zu erfahren, wie die verschiedenen Theile des Spektrums auf die Platinplatten wirken, wurde eine derselben senkrecht gestellt; man ließ die farbigen Strahlen des Spektrums, das durch die Brechung der direkten Strahlen der Sonne entstand, darauf fallen. Die beiden Fächer waren mit gesäuertem Wasser gefüllt; in demjenigen, welches dem Lichte entzogen war, befand sich eine Platinplatte, welche, wie die andere mit einem Multiplikator in Verbindung stand.

Man erhielt folgende Erscheinungen:

Keine Wirkung in den Strahlen, { roth, orange, gelb, grün.

Schwache Wirkung in den Strahlen, { blau, indigo.

Auffallende Wirkung in den violetten Strahlen.

Man kann aus diesen Resultaten schließen, daß, da die Strahlen, welche auf die in die Auflösungen getauchten Platin- oder Goldplatten wirken, brechbarer als die wärmeerregenden Strahlen sind, sie keine Wärmeerscheinungen hervorbringen können. Welches

ist aber die Wirkungsweise dieser Strahlen? Obgleich man diese Frage nicht kategorisch beantworten kann, so ist es doch, da die Wirkungen beinahe Null sind, wenn die Oberflächen ganz sauber sind, sehr wahrscheinlich, daß sie von der Wirkung der chemischen Strahlen auf die den Oberflächen anhängenden Körperchen herrühren. Um zu sehen, wie weit diese Vermuthung gegründet ist, muß man den Einfluß untersuchen, welchen in diesem Falle die Kohle und verschiedene Oxyde, die in sehr dünnen Schichten auf die Platten gelegt werden, ausüben; in diesem Falle findet man, daß die Erscheinungen statt beträchtlicher zu sein, vielmehr geringer sind; auf einer andern Seite müßte, wenn das Phänomen wärmeerregend ist, das Dasein dieser Körper das Absorptionsvermögen des Platins vermehren.

Man weiß nicht, ob nicht die außerordentlich schwache Veränderung des Platins bei der Erzeugung der Erscheinung dazwischen kommen würde; das Gewisse ist, daß, wenn man mit einer Platte operirt, die mehrere Tage lang mit Wasser im Contakte ist, der Strom nicht so stark ist, als wenn man die Platte glühend gemacht hätte.

Wir wollen jetzt sehen, was vorgeht, wenn man mit Platten von oxydirbarem Metalle operirt. Man hat sich zuerst der Messingplatten und als Flüssigkeit des durch einige Tropfen Salpetersäure gesäuerten Wassers bedient. Die Platten haben beständig einen Strom von 4° bis 5° gegeben, dessen Richtung so beschaffen war, daß die den Strahlen ausgesetzte Platte der Flüssigkeit die positive Elektricität entzog; eine umgekehrte Wirkung von derjenigen, welche stattgefunden hätte, wenn die Platte von dem gesäuerten Wasser angegriffen worden wäre.

Zwei Platten, welche bereits gedient hatten, wurden in Beziehung auf eine Säule von dreißig Elementen als Elektrode angewandt: die positive

Platte wurde oxydirt, während die andere glänzend blieb; nun setzte man sie hinter einander den Sonnenstrahlen aus. Die glänzende Platte verhielt sich wie zuvor, d. h. sie nahm die positive Elektricität an: die Abweichung der Nadel war von 3° bis 4°; während die oxydirte Platte stark negativ wurde, so daß die Nadel des Galvanometers heftig auf 90° getrieben wurde. Diese kräftige Wirkung wird nur dann hervorgebracht, wenn die Platte stark mit Oxyd überzogen ist. Wurde die Ordnung der Platten umgekehrt, so waren die Erscheinungen dieselben; wir müssen darauf aufmerksam machen, daß sie erst dann zum Versuche genommen worden waren, nachdem sie die Polarität verloren hatten, die sie bekommen, wenn sie zu Elektroden dienen. Da man als Schirme die verschiedenen oben erwähnten farbigen Gläser anwandte, so erhielt man, als man die oxydirte Platte den Sonnenstrahlen aussetzte, folgende Resultate:

Schirme.	Intensität des Stroms.	Verhältniß der hervorgebrachten Erscheinungen, indem 100 die ausgeübte Wirkung ohne die Dazwischenkunft irgend eines Schirmes anzeigt.
Ohne Schirm	35,5	100
Violettes Glas	9	27
Blaues "	10,5	31
Grünes "	1	2,5
Gelbes "	6,5	10,5
Rothes "	1	2,5.

Als die Platte den verschiedenen Theilen des Sonnenspektrums ausgesetzt wurde, so erhielt man:

Spektrum.		Intensität des Stromes.
In den rothen Strahlen	. . . .	1
„ „ orange „	. . . . .	„
„ „ gelben „	. . . . .	2
„ „ grünen „	. . . . .	4
„ „ blauen „	. . . . .	2
„ „ indigo „	. . . . .	„
„ „ violetten „	. . . . .	0

Als man mit der gereinigten Messingplatte und den farbigen Schirmen operirte, so erhielt man einen Strom in umgekehrter Richtung mit dem vorhergehenden, dessen Intensität, wie man aus der folgenden Tabelle ersehen kann, verschieden ist:

Schirme.	Intensität.	Verhältnisse der hervorgebrachten Erscheinungen.
Ohne Schirm	$4^{0},5$	100
Violettes Glas	2^{0}	44,5
Blaues „	$1^{0},5$	27
Gelbes „	0	0.

Es gibt zwei verschiedene umgekehrte Erscheinungen, welche von der Wirkung der Sonnenstrahlen auf Messingplatten hervorgebracht werden; zuerst die, welche bewirkt wird, wenn die Platte glänzend und rein ist, und sodann die, wenn die Platte oxydirt ist; man sieht überdies, daß sich die Schirme in Beziehung auf die Strahlen, welche diese Wirkungen hervorbringen, verschieden verhalten.

Mit Platten aus Silber und einem durch Schwefelsäure gesäuerten Wasser erhielt man einen Strom von 1^{0} bis 2^{0} in einer solchen Richtung, daß die ausgesetzte Platte negativ war. Mit den Platten, die zu Elektroden gedient hatten, waren die Erscheinungen nicht auffallender. Da diese schwache Wirkung außer Acht gelassen werden konnte, so setzte man

auf ihrer Oberfläche Jod- und Bromdämpfe ab, um zu sehen, wie weit man die elektrischen Erscheinungen beobachten könne, die durch die Reaktion dieser beiden Körper auf das Silber unter dem Einflusse des Sonnenlichtes hervorgebracht wurden. Die mit einer dünnen Jodschichte überzogene Platte entzog der Flüssigkeit die positive Elektricität; bei einer dicken Schichte war die Erscheinung umgekehrt: in dem ersten Falle ging die Schichte Jodsilber in einen geringeren Zustand von Jodirung über; in dem zweiten reagirte das Jod auf das Silber. Bei dem Operiren unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen betrug die Abweichung der Nadel 45° bis 50°.

Bei einer dicken Jodschichte und den verschiedenen Schirmen farbigen Glases erhielt man:

Schirme.	Intensität des erzeugten Stromes.	Verhältniß der hervorgebrachten Wirkungen.
Ohne Schirm	55	100
Violettes Glas	22	40
Blaues "	14	25,5
Gelbes "	7	12,7
Rothes "	1	1,8.

Bei dem Brombampfe wurde die den Sonnenstrahlen ausgesetzte Silberplatte in Beziehung auf die Flüssigkeit gleichfalls negativ, die Wirkung war so stark, daß bei dem zerstreuten Lichte die Abweichung 50° betrug.

Als die Platte 10′ lang dem zerstreuten Lichte ausgesetzt, sodann gegen das Strahlen geschützt und aufs Neue seiner Wirkung ausgesetzt wurde, so betrug die Abweichung nur noch 3° bis 4°; die Reaktion war alsdann großentheils beendigt. Eine Schichte Chlor, die statt des Jods oder Broms gebraucht wurde, brachte eine Wirkung hervor, die beinahe Null war. Die bisher vorgetragenen elektrischen Erscheinungen dienen augenscheinlich dazu, die Reak-

tionen, welche die Metalle und im Allgemeinen die leitenden Körper, auf deren Oberfläche man Schichten von verschiedenen Naturen absetzt, unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen erleiden, bis auf einen gewissen Punkt zu erkennen und sogar zu messen.

Wir haben jetzt noch die elektrischen Erscheinungen zu untersuchen, die bei der Veränderung des Chlor-, Brom- und Jodsilbers unter dem Einflusse des Lichts hervorgebracht werden, Erscheinungen, deren Kenntniß interessant ist, um eine gewisse Anzahl von Thatsachen und insbesondere das zu erklären, was die Wirkungen betrifft, die unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen in der Photographie vorkommen.

Wir wollen mit dem Chlorsilber anfangen, das sich unter diesem Einflusse in Unterchlorür verwandelt, und welches wegen seiner Nichtleitungsfähigkeit nur in sehr dünner Schichte angewandt werden kann. Eine in Wasser getauchte Platinplatte nimmt das frisch zubereitete Chlorür in möglichst dünner Schichte an, man richtet alsdann den Apparat her, wie vorhin angegeben wurde. Kaum ist die Platte den Sonnenstrahlen ausgesetzt, so schwärzt sich das Chlorür; die Nadel des Multiplikators wird sogleich in einer Richtung fortgestoßen, welche anzeigt, daß die Platte positiv ist. Diese Erscheinung rührt davon her, daß das Chlorsilber die positive Elektricität annimmt, die es auf die Platinplatte fortpflanzt, mit welcher es sich im Contakte befindet, während die Flüssigkeit die entgegengesetzte Elektricität annimmt. Dieser Versuch kann mit keiner Silberplatte angestellt werden, welche von dem Chlore angegriffen würde, das von der Zersetzung des Chlorürs herrührt, woraus ein Strom in umgekehrter Richtung mit dem vorhergehenden entspringen würde. Man muß auch die Wirkung des Strahlens der Sonne auf das Platin in Anschlag bringen, die einen Strom in umgekehrter Richtung hervorbringt, den eine Abweichung von 1°

bis 2° anzeigt. Das Gold verhält sich wie das Platin.

Will man die elektrische Wirkung haben, welche die Zersetzung des Chlorsilbers allein hervorbringt, so muß man zwischen das Metall und das Chlorür einen Streifen ungeleimten Papieres bringen. Da man alsdann das Fortpflanzungsvermögen der Kette verringert, so hat man nur noch eine Abweichung von 3° bis 4°. Damit sich das Chlorsilber an die Platte gehörig anhänge und sich nicht von derselben losmache, so erwärmt man sie gelinde im Dunkeln, bis das Chlorür geschmolzen ist; die Erscheinungen haben eine um so größere Intensität, je dünner die Chlorschichte ist.

Dies sind die elektrischen Erscheinungen, welche bei der chemischen Einwirkung des Lichtes vorkommen, deren wir uns bei der Untersuchung dieser Wirkung unter Umständen bedienen werden, wo man es bis jetzt nicht thun konnte.

Von den elektrischen Erscheinungen bei den Kapillarwirkungen.

Die Kapillarwirkungen sind diejenigen, welche bei dem Contakte der festen und der flüssigen Körper und der flüssigen unter sich vorkommen, wenn keine Verbindung stattfindet; sie hören augenblicklich auf, wenn sich eine Flüssigkeitsschichte auf der Oberfläche der festen Körper abgesetzt hat. Es können also nur augenblickliche elektrische Erscheinungen stattfinden. Da aber zu gleicher Zeit Wärmeerzeugung eintritt, da diese Erzeugung selbst eine Ursache der Elektricitätsentwicklung ist und da auf der andern Seite der Körper, bevor er in die Flüssigkeit eingetaucht wurde, mit einer Luftschichte bedeckt ist, so folgt daraus, daß die hervorgebrachten elektrischen Erscheinungen complicirt sind, und zwar so, daß es sehr schwer ist, jeder der

wirkenden Ursachen ihren Antheil anzuweisen. Wir erwähnen dies hier nur darum, um dem Leser zu zeigen, welche Vorsicht man anwenden müsse, um alle Erscheinungen in Beziehung auf Elektricitäts-entwicklung zu analysiren. Um diese Erscheinungen zu beobachten, bringt man mit dem einen Ende des Drahtes eines Multiplikators einen Platinalöffel in Verbindung, der mit Salpetersäure angefüllt ist, in welche man einen Platinaschwamm taucht, der mit dem andern Ende des Drahtes in Verbindung steht; der Löffel und der Schwamm sind mehrere Male mit Salpetersäure gewaschen worden, welche man durch das Glühen der beiden Stücke wieder fortschaffte. Nachdem man sich von der Reinheit der Oberflächen überzeugt hat, beginnt man den Versuch. Es ereignet sich oft, daß, wenn man einen recht trockenen Schwamm in die Säure des Löffels taucht, eine starke Elektricitätsentwicklung stattfindet. Der Schwamm nimmt die negative Elektricität an, wie wenn er angegriffen wäre. Unmittelbar darauf wird die Nadel nach einer andern Richtung getrieben, was anzeigt, daß die Platte und der Schwamm so polarisirt wurden, daß sie einen Strom in umgekehrter Richtung hervorbrachten. Bei der verdünnten Salpetersäure gibt es keine Polarisation, aber der erste Strom beharrt eine Zeit lang und verschwindet endlich. Augenscheinlich findet hier eine secundäre Wirkung Statt, welche diese Beharrlichkeit des Stromes anzeigt. Wir schließen das, was wir in Beziehung auf die Elektro-Kapillarerscheinungen zu sagen haben, mit der Bemerkung, daß in dem Augenblicke, wo sich die Kapillarwirkung kund gibt, sie den Molekülen der Körper, welche der Gegenstand derselben sind, eine Erschütterung mittheilt, welche hinreichend ist, um auf einen Augenblick das Gleichgewicht der elektrischen Kräfte aufzuheben.

Von der Elektricitätsentwicklung durch die Vertheilung der elektrischen Ströme und durch die Magnete.

Jedesmal, wenn sich elektrische Ströme oder Magnete in geringer Entfernung von den leitenden Körpern befinden, so entstehen daraus besondere elektrische Erscheinungen, welche zum ersten Male von Faraday beobachtet wurden, die er Induktionserscheinungen nannte und welche zu den Erscheinungen gehören, die sich auf die Elektricitätsentwicklung beziehen. Um diese Thatsache augenscheinlich zu machen, wendet man folgende Einrichtung an: man wickelt spiralförmig um einen Cylinder aus Holz oder einer andern die Elektricität schlecht leitenden Substanz zwei gleiche Kupferdrähte, die mit Seide umsponnen sind und wovon jeder 80 bis 100 Meter hat; diese beiden Drähte bilden zwei Spirale, wovon die eine an ihren Endpunkten mit einem Multiplikator und die andere mit einer Wollaston'schen Säule von einer gewissen Anzahl von Elementen in Verbindung gebracht ist. Die Nadel wird sogleich zum Abweichen gebracht: sie kehrt aber bald nachher in ihre gewöhnliche Gleichgewichtslage zurück. Es erzeugt sich eine andere Erscheinung, aber in umgekehrter Richtung, wenn der Contakt mit der Säule unterbrochen wird. Demnach findet die Erzeugung der Induktionserscheinungen nur in dem Augenblicke Statt, wo der Strom anfing und aufhört; diese Erscheinungen haben also nur eine augenblickliche Dauer. Der durch die Wirkung des Stroms der Säule hervorgebrachte inducirte Strom, welcher inducirender Strom heißt, geht in einer entgegengesetzten Richtung, während derjenige, den das Aufhören des inducirenden Stromes gibt, in der nämlichen Richtung wie dieser letztere fortgeht.

Man verfährt auf die folgende Weise, um In-

duktionserscheinungen durch Magnete zu erhalten: man rollt gleichfalls um einen hohlen hölzernen oder gläsernen Cylinder einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht von verschiedener Länge von 50 bis 100 Meter; sodann bringt man die beiden Drahtende mit einem Multiplikator in Verbindung. Wenn man in die Spirale das Ende einer Magnetstange bringt, so erhält man einen augenblicklichen Strom, welcher die Nadel in einer Richtung forttreibt, die von der Natur des in die Spirale gebrachten Poles abhängt. Nachdem die Nadel auf Null zurückgekommen ist, so wird sie, wenn man die Stange heraus nimmt, nach einer andern Richtung getrieben und kommt wieder auf Null, was anzeigt, daß der Strom augenblicklich ist. Dies ist die Darlegung der Erscheinung. Faraday, dem man die Entdeckung der Ströme durch Induktion verdankt, nimmt in dem Augenblicke, wo sie sich erzeugen, einen neuen elektrischen Zustand in der Materie an. Nach ihm scheint ein Metalldraht, wenn er der Induktion unterworfen wird, in einem besondern Zustande zu sein, weil er der Bildung eines elektrischen Stromes widersteht, der nur in dem Augenblicke stattfindet, wo dieser besondere Zustand beginnt, dem er den Namen des elektro-tonischen gegeben hat. Während dieses Zustandes besitzt die Materie keine von den Eigenschaften, die auf die elektrisirten oder magnetisirten Körper Bezug haben; und der elektrotonische Zustand ist ein Zustand der Spannung, das Aequivalent von einem elektrischen Strome, der wenigstens dem hervorgebrachten Strome gleich ist, wenn die Induktion stattfindet oder aufhört. Nach unserer Ansicht kann man sich in dem Augenblicke, wo der elektrische Strom beginnt, denken, daß er auf einen Theil der Elektricität des benachbarten Metalls so wirke, daß er eine von den beiden Flüssigkeiten vertreibe, deren Natur von der Richtung des Stroms abhängt, wie dies

bei der Elektricitätsentwicklung durch Vertheilung der Fall ist; mit dem Unterschiede jedoch, daß in dem vorliegenden Falle die eine von den vertriebenen Elektricitäten einen augenblicklichen Strom bildet, während die andere nach einer entgegengesetzten Richtung gewissermaßen von dem Strome angezogen und sogleich frei wird, wenn der inducirende Strom aufhört. Weil ein elektrischer Strom die Induktion in einem benachbarten Metalldrahte erregt, so muß er gleichfalls eine Induktion in seinem eigenen Drahte hervorbringen; dies hat der Versuch bewiesen, und damit werden wir uns später beschäftigen, wenn wir von den Induktionserscheinungen in Beziehung auf ihre Anwendung auf das Studium des Erdmagnetismus und mehrerer anderer natürlicher Phänomene sprechen werden. Um alles, was die Elektricitätsentwicklung angeht, vollständig zu machen, hätten wir die elektrischen Erscheinungen, welche der Krampffisch, der Finnaal u. s. w. zeigen, anführen sollen; da aber diese Erscheinungen auf das Innigste mit den Contraktionserscheinungen verknüpft sind, aus denen wir ein ganz besonderes Studium zu machen gesonnen sind, so wollen wir lieber diese beide Fragen nicht trennen; wir werden demnach später, wenn wir von den Contraktionen im Allgemeinen handeln, darüber uns weiter auslassen.

Drittes Buch.

Von der Wärme.

Erstes Kapitel.

Von der Wärmeerzeugung.

Bei der Darstellung der Wärmeerscheinungen hat man lange die Ursache von der Wirkung getrennt; heutzutage aber verschmilzt man ziemlich allgemein unter dem Namen Wärme den Wärmestoff, der die Ursache, und die Wärme, welche die Wirkung ist.

Besitzt die Wärme einige Eigenschaften der Materie, z. B. Elasticität, Zusammendrückbarkeit, und die Fähigkeit, sich mit den Körpern zu verbinden oder nicht? Der Versuch, diese Frage zu lösen, würde uns in eine Principserörterung über den Ursprung der Wärme ziehen, womit wir uns hier für den Augenblick nicht zu beschäftigen haben.

Wir befolgen in Beziehung auf die Wärme denselben Gang wie bei der Elektricität, d. h. wir werden zuerst das vortragen, was die Wärmeentwicklung, in allen Fällen wo sie Statt hat, betrifft.

Eine Frage sollte uns zuerst beschäftigen, nämlich die, welche sich auf das Maß der Temperaturen in Ansehung der Forschungen bezieht, welche in das Gebiet der angewandten Physik gehören; da aber die Verfertigung und die Anwendung dieser Apparate

auf den Eigenschaften thermoelektrischer Ströme beruhen, von welchen wir noch nicht gesprochen haben, so ziehen wir es vor, mit der Wärmeerzeugung zu beginnen. Wir wollen also zuerst die Erzeugung der Wärme 1) bei den mechanischen Wirkungen; 2) bei dem Gange der Elektricität durch die Körper 3) bei den chemischen Wirkungen; 4) bei den Wirkungen der Capillarität untersuchen. Die Molekülen der Körper werden im Gleichgewicht durch die vereinten Wirkungen der Affinität, der molekularen Attraktion, der Wärme und der Elektricität erhalten; hört eine von diesen Kräften zu wirken auf, so treten alsbald die anderen in Thätigkeit; wird z. B. die molekulare Attraktion zerstört oder geschwächt, so entsteht Elektricität und Wärme. Wir haben alles das kennen gelernt, was zur Elektricitätsentwicklung gehört; wir werden in Beziehung auf die Wärmeentwicklung denselben Weg einschlagen, um so mehr als alle Ursachen, welche das Gleichgewicht der elektrischen Kräfte in den Körpern stören, auf gleiche Weise in Beziehung auf die Wärme wirken.

Man kann von jetzt an als Grundsatz aufstellen, daß jede Volumveränderung eines Körpers mit Wärmeerscheinungen begleitet ist: wenn das Volumen kleiner wird, so findet Temperaturerhöhung, im entgegengesetzten Falle Erniedrigung Statt. Diese beiden Erscheinungen rühren daher, daß im ersten Fall der Theil von latenter Wärme, der dazu dient die Moleküle ausgespannt zu halten, frei wird, während im zweiten Falle die Moleküle den benachbarten Körpern, die Wärme, deren sie bedürfen, um einen größeren Raum einzunehmen, wieder nehmen.

Von der Wärmeentwicklung bei den mechanischen Wirkungen.

Die mechanischen Wirkungen umfassen den Druck,

den Stoß und die Reibung: die Körper, mit welchen man operirt, können fest, liquid und gasförmig sein. Alle diese Wirkungen entwickeln dadurch, daß sie den Molekülen eine schwingende Bewegung geben, Wärme.

Der Druck wirkt nur schwach, um Wärme in festen und liquiden Körpern zu entwickeln, weil ihr Volumen keine wahrnehmbare Verringerung erleidet. Bei den Gasen verhält es sich nicht so, welche, wegen ihrer Zusammendrückbarkeit, fähig sind, eine große Menge Wärme zu entwickeln. Das pneumatische Feuerzeug zeigt uns ein Beispiel davon; denn man weiß, daß, wenn man mit Hülfe eines Stempels in einer gläsernen, oder andern Röhre, die Luft rasch comprimirt, so daß sie auf ein Fünftel ihres Volumens reduzirt wird, sie hinreichend Wärme entwickelt, um ein Stück Zunder, welches am Ende des Stempels befestigt ist, und das man rasch aus der Röhre zurückzieht, zu entzünden. Die anderen Gase erhitzen sich gleichfalls, aber sie haben nicht die Eigenschaft, Zunder oder andere verbrennbare Körper zu entzünden, weil nicht alle einen brennbaren Stoff enthalten; nur der Sauerstoff, die Gase, welche ihn enthalten, und das Chlor entwickeln Wärme und Licht.

Wenn der Druck, welcher auf ein Gas ausgeübt wurde, die latente Wärme frei macht, und seine Temperatur erhöht, so muß die Verdünnung eines Gases Wärme von den umgebenden Körpern absorbiren und eine Erniedrigung der Temperatur erzeugen. Um es zu beweisen, hängt man ein Thermometer mitten in einen Ballon, in welchem man einen leeren Raum erzeugt; kaum hat man die Luft weggebracht, so fällt das Quecksilber. Der Breguet'sche Thermometer wird wegen seiner Empfindlichkeit mit Vortheil angewandt, um diesen Versuch anzustellen. Man kann sich ebenfalls des thermoelektrischen Apparates bedienen, von dem wir nachher sprechen werden,

weil er augenblickliche Temperatur-Veränderungen anzeigt.

Die Erscheinungen sind deutlicher, wenn man auf folgende Weise mit comprimirter Luft von zwei oder drei Atmosphären operirt; man läßt diese Luft durch eine kleine Oeffnung entweichen, vor welcher man eine Glaskugel angebracht hat; diese bedeckt sich durch Abkühlung augenblicklich mit Eis, wenn die umgebende Luft feucht ist. Wenn man Luft in einen luftleer gemachten Ballon dringen läßt, so bringt sie daselbst complicirte Wärmeerscheinungen hervor; in den ersten Augenblicken findet eine Temperaturerniedrigung, wegen der Ausdehnung der Luft Statt; aber die neuen Luftmengen, welche hierauf anlangen, drängen die bereits eingetretene zurück, woraus eine Wärmeentwicklung entsteht; welche man dadurch leicht beobachten kann, daß man unter dem Recipienten Thermometer in verschiedenen Höhen anbringt.

Die liquiden Körper erzeugen im Allgemeinen durch den Stoß keine Wärme; wir sagen im Allgemeinen: denn Colladon und Sturm fanden, daß man, indem man Schwefeläther mit einem Hammerschlag stößt, eine Veränderung von 2° im Breguet'schen Thermometer erhält; in denselben Fällen haben Wasser und Alkohol nichts hervorgebracht.

Man untersuchte, ob die Wärmeentwicklung beim Stoße fester Körper immer von einer Volumenreduktion begleitet sei. Konnte es wohl noch in dem Falle, z. B. wo die einen Augenblick zusammengedrückten Partikelchen wieder in die nämliche Lage zurückkehren, welche sie vorher einnahmen, frei gemachte Wärme geben? Aus den Resultaten Berthollet's, Pictet's und Biot's folgt nun, daß, wenn man unter den Schwingkolben, kupferne und silberne Scheiben bringt, eine starke Wärmeentwicklung nur in den ersten Augenblicken stattfindet, dann vermindert sie sich rasch, und wenn endlich die Moleküle hinreichend dicht ge-

macht worden sind, um ihre Lage nicht mehr zu verändern, so entwickelt sich keine Wärme mehr, so heftig die Stöße auch sein mögen. Bei diesem Punkte angelangt, erleiden die Moleküle wohl noch Veränderungen, aber da sie in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren, so verschwindet die Wärme, welche durch Compression entwickelt wurde, durch die Expansion, welche unmittelbar darauf folgt.

Die Wärmemenge, welche durch Reiben hervorgerufen wird, ist manchmal so beträchtlich, daß sie hinreicht, verbrennbare Körper zu entzünden. So fängt z. B. ein Rad, das sich rasch um seine Achse dreht, Feuer, und der Wilde entzündet, mit einer Geschicklichkeit, die wir nicht besitzen, zwei Stücke Holz dadurch, daß er sie auf einander mit einer großen Geschwindigkeit reibt. Die hervorgebrachten Erscheinungen rühren von einer schwingenden Bewegung her, welche durch das Reiben den Molekülen gegeben wurde, wie dies auch noch folgende Thatsachen beweisen. Wenn man eine Legirung, die aus einem Theil Eisen und zwei Theilen Antimon besteht, feilt, so sprühen lebhafte Funken heraus, welche beweisen, daß die Temperatur bis zum Weißglühen gestiegen ist.

Dadurch, daß man, bei einer Temperatur unter Null, zwei Eisstücke rasch an einander reibt, entwickelt sich hinreichende Wärme, um das Schmelzen des Eises an seiner Oberfläche zu bewirken.

Rumford's Versuche über die Wärme, welche beim Bohren einer Kanone entwickelt wurde, geben uns ferner einen Begriff von der Intensität der Wärme-Erscheinungen durch das Reiben. Da dieser Versuch in allen physikalischen Lehrbüchern beschrieben wird, so dürfen wir nur die Resultate anführen, auf welche er geführt hat.

Das Bohren hatte in einer gegebenen Zeit aus dem Stücke metallische Bohrspäne losgemacht, deren Gewicht 443, 61 Gramme war; die entwickelte Wärme=

menge war kräftig genug, um die Temperatur von ungefähr 55 Kilogrammen Bronze auf 70 Grad zu erheben, und diese Menge würde hinreichen, 3 Kilogramme und 15 Gramme Eis zu schmelzen. Rumford fragte sich mit Recht, ob diese Wärmemenge der latenten Wärme, die in Folge einer Veränderung im molekularen Zustande der entstandenen Späne frei wurde, oder einer andern Ursache zuzuschreiben sei? Er fand zuerst, daß die latente Wärme nichts zur Erzeugung dieses Phänomens beitrage; er versuchte hierauf zu entdecken, ob die umgebende Luft zur entwickelten Wärme beitrage oder nicht, und er hat bewiesen, daß die Entfernung der Luft, aus der Höhle, wo der Bohrer hineingethan wurde, die Wärmemenge, die durch Reibung erzeugt wurde, in nichts vermindert; indem Rumford endlich alle Ursachen, welche auf die Erzeugung des Phänomens Einfluß haben konnten, untersuchte, wurde er bloß auf die Annahme geführt, daß die Schwingungen, welche den Bronzemolekülen gegeben wurden, eine von den Ursachen wäre, welche größtentheils die Erscheinung hervorbringt. Genau eine ähnliche Ursache wirkt mit einer großen Energie beider Elektricitätsentwicklung durch Reibung mit.

Wir wollen jetzt suchen, die Wärmeerscheinungen, welche durch Reibung hervorgebracht werden, zu analysiren, um sie mit den elektrischen Erscheinungen, welche unter denselben Umständen stattfinden, zu vergleichen. Man kennt bis jetzt, wenn man zwei Körper aneinander reibt, den Theil von Wärme, welchen jeder von ihnen, wegen seiner Natur und des Zustandes seiner Oberfläche entwickelt, nicht. Da die Aufgabe zu den complicirteren gehört, so ist es sehr schwer, bei dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft, eine vollständige Lösung davon zu geben; man kann sich indessen derselben, mit Hülfe der experimentalen Methode, welche ich sogleich angeben will, nähern.

Um zu bestimmen, wie viel jeder Körper zur Wärmeerzeugung beiträgt, müßte man die verschiedenen Ursachen, welche die Erscheinung, die man beobachten will, verhüllen, entfernen; was man nicht völlig bewerkstelligen kann. Wenn man wirklich mehr oder minder schnell zwei Körper auf einander reibt, dadurch, daß man sie immer im Contakt erhält, so findet augenscheinlich Wärmeübergang von einem Körper zum anderen Statt. Die in jeden Körper übergegangene Menge hängt von der Leitungsfähigkeit des Körpers, von seiner Capacität für die Wärme und dem Zustande seiner Oberfläche ab. Demnach kann die Wärme, welche auf der Oberfläche eines jeden Körpers durch die Reibung eines anderen Körpers, entwickelt wurde, nicht unmittelbar, d. h. vor dem Uebergang, welcher von einem Körper zum andern stattfindet, angegeben werden. Es ist dem ungeachtet möglich, unter Umständen zu operiren, die mehrere von den so eben angegebenen Schwierigkeiten zu entfernen erlauben; man wird alsdann auf eine Reihe von Thatsachen geführt, welche wir vortragen wollen, und welche nicht ohne Interesse für die Theorie der Wärmeentwicklung sind.

Der Apparat, welcher dazu bestimmt ist, diese Thatsachen zu beobachten, besteht aus einer thermoelektrischen Säule, welche mit einem ausgezeichneten Multiplikator M in Verbindung steht, wie es die Fig. 14 Taf. VI. zeigt, und dessen Empfindlichkeit hinreichend ist, um eine Differenz von ungefähr einem Hundertel eines Centimalgrades zwischen der Temperatur der beiden Oberflächen der Säule beobachten zu lassen.

Um einigermaßen die Aufgabe auf ihren einfachsten Ausdruck zu bringen, so operirt man mit zwei Körpern von derselben Natur, welche schlechte Wärmeleiter, von gleichen Dimensionen, in Scheiben von 1 bis 2 Millimeter Dicke geschnitten und

nur im Zustande ihrer Oberflächen verschieden sind. Diese Körper sind mit Mastix an den Enden der Glasstangen t't' befestigt: die Oberflächen der Scheiben werden in Berührung gebracht; man drückt sie leicht aufeinander und gibt ihnen eine rotirende Bewegung während einer bestimmten Zeit, so daß man immer dieselbe Zahl von Drehungen in derselben Zeit erhält. Die beiden Körper werden hierauf rasch getrennt, und ein jeder von ihnen an der geriebenen Oberfläche mit einer der Flächen von der Säule, mit welcher er seine erlangte Wärme theilt, in Berührung gebracht. Haben die beiden Körper dieselbe Temperatur, so bleibt die Magnetnadel in Ruhe, weil die zwei thermo-elektrischen Ströme, da sie gleich und in entgegengesetzter Richtung laufen, sich aufheben. Ist die Temperatur in den beiden Körpern verschieden, so weicht die Nadel alsbald ab, und der Abstandswinkel zeigt die Temperaturdifferenz an, indem man sich der Tafeln bedient, welche vorläufig verfertigt wurden, um einerseits die Verhältnisse, welche zwischen der Abweichung der Magnetnadel und der Intensität des Stroms bestehen, anderseits die Abweichung, welche einer gegebenen Temperaturdifferenz entspricht, kennen zu lehren. Man kann in dieser Beziehung die Methoden zu Rathe ziehen, welche bei der Bildung dieser Tafeln angewendet wurden. Die Erscheinungen sind demungeachtet nur insoweit vergleichbar, als die Reibung mit einer bekannten Geschwindigkeit und Drucke hervorgebracht wird, und wenn die beiden Körper rasch voneinander getrennt und unmittelbar in Berührung mit den Flächen der Säule gebracht wurden. Mit ein wenig Geschicklichkeit bringt man es dahin, diese Bedingungen zu erfüllen, wie die Resultate, welche man nachher mittheilen wird, es beweisen werden.

Ehe wir zu den Versuchen übergehen und um den Gang des Apparates kennen zu lernen, ist es noth-

wendig, die Wirkung zu erforschen, welche von dem thermo-elektrischen Strome auf die Magnetnadel hervorgebracht wird, wenn man einen von den beiden Körpern, welcher eine höhere Temperatur als die umgebende Luft besitzt, in Berührung mit einer von den Flächen der Säule bringt. Man findet alsdann, die Natur der geriebenen Körper oder Scheiben mag sein, welche sie will, sie mögen Leiter der Wärme sein oder nicht, daß die Zeit, welche die Nadel braucht, um ihr Abstandsmaximum zu erreichen, wofern nur dieser Abstand nicht 60° übersteigt, immer 10″ stark ist; bei den Abständen von 60° bis 75° beträgt sie 9″,5, und 9″ bei Abweichungen von 75° bis 90°. Dies hängt von der Verzögerungskraft der Nadel ab, welche Kraft um so leichter überwunden wird, je größer die Intensität des Stromes ist.

Die Magnetnadel verhält sich hier, wie ein Pendel, welches zwischen kleinen Weiten durch die Schwerkraft oscillirt, weil die Schwingungen isochronisch sind, aber mit diesem Unterschiede jedoch, daß bei dem Pendel die Amplitüde der Schwingung zunimmt, während bei den hier angeführten Versuchen das Gegentheil stattfindet, weil die Zeit sich in dem Verhältnisse vermindert als die Amplitüde über 60° bis zu 90° zunimmt. Man zeigt den Isochronismus der Abweichungen durch den ersten Impuls, indem man eine in Scheiben geschnittene Substanz eine Sekunde lang mit einer Wärmequelle, welche eine constante Temperatur besitzt, in Berührung bringt, und sie hierauf auf eine von den Flächen der Säule legt.

Substanzen, welche dem Versuche unterworfen wurden.		Abweichung nach dem ersten Impuls.	Durchschnitt.	Zeit.
Geschliffenes Glas	1ter Versuch	39	10″	10,43
	2 „	37	10	
	3 „	39	11	
	4 „	38	11	
	5 „	46	11	
	6 „	36	10	
	7 „	38	10	
Mattes Glas	1ter Versuch	48	10	10
	2 „	49	10	
	3 „	51	10	
	4 „	55	10	
	5 „	50	10	
	6 „	52	10	
Kork	1ter Versuch	10	10	9,8
	2 „	12	10	
	3 „	11	9	
	4 „	12	9	
	5 „	11	11	
Silber	1ter Versuch	56	10	10
	2 „	55	10	
	3 „	57	10	
	4 „	55	10	
	5 „	57	10	

Diese Resultate zeigen den Isochronismus der Abweichungen deutlich, abgesehen von den leichten Differenzen, welche den Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden müssen; denn man kann sich leicht um eine halbe Sekunde stoßen, wenn man die Zeitdauer einer ganzen Schwingung berechnen will, weil man den Augenblick nicht wissen kann, wo die Nadel in Bewegung kommt und wo sie aufhört, besonders wenn die Intensität des Stromes schwach ist. Bei den Ver-

suchen, welche man anstellte, um sich zu überzeugen, ob dieses Gesetz für beträchtlichere Abweichungen noch stattfände, nahm man eine Silberscheibe, die man nach und nach erhitzte, so daß man auf den ersten Impuls Abweichungen von 1° bis 90° erhielt; man hat folgende Resultate erhalten:

Abweichungen	berechnete Zeit in halben Sekunden.
1	20
2	20
4	20
6	20
10	20
12	20
23	20
40	20
43	20
54	20
56	20
59	20
60	19
63	19
65	19
67	19
70	19
75	18
82	18
83	18
88	18
89	18

Es ist demnach bewiesen, daß von 1° bis ungefähr 60° die Dauer jeder Abweichung 10″ ist; von 60° bis 70° ist sie 9″,5; von 70° bis 90°′ 9″. Man darf nicht vergessen, daß die Abweichungen der Magnetnadel bis zu 20° gleichen Intensitäten des Stroms entsprechen, und daß weiter hinaus die Abweichungen den Intensitäten nicht mehr proportional sind.

Wenn eine von den Flächen der Säule durch direkte Strahlung von der Flamme einer gewöhnlichen Lampe, welche in einer Entfernung von einem Meter sich befindet, anstatt durch direkten Uebergang erhitzt wird, so sind die Resultate noch dieselben.

Abweichungen	Zeit in halben Sekunden.
6°	20
8	20
25	20
60	20
61	20
69	19
71	19
75	19

Es ist daher bewiesen, daß die Erscheinung von der größeren oder geringeren Leitbarkeit der angewandten Scheiben unabhängig ist. Um zu sehen, bis zu welchem Punkte die vorhergehenden Thatsachen von der Wirkung abhängen, welche von dem Erdmagnetismus auf das System der zwei Nadeln des Multiplikators ausgeübt wird, hat man die Schwingungszeit des Systems, welchem man einen Impuls durch einen Magnet gibt, bestimmt. Zu diesem Ende nähert man in verschiedenen Distanzen der oberen Nadel einen leicht magnetisirten Stab, um sie auf diese Weise um eine gewisse Anzahl Grade abweichen zu lassen, sodann berechnet man, nachdem man den Stab rasch zurückgezogen hatte, die Zeit einer Schwingung. Wir geben hier die für verschiedene Amplitüden erhaltenen Resultate:

Abweichungen	Zeit einer Schwingung in halben Sekunden.
4	18
5	18
8	18
10	18

Abweichungen	Zeit einer Schwingung in halben Sekunden.
12	18
15	18
20	18
42	19
46	19
55	20
63	20
65	20
70	20
80	20

Man sieht, daß, wie bei dem Pendel die Zeit der Schwingungen in dem Verhältnisse zunimmt, als die Abweichung größer wird, während, wenn die Magnetnadel durch die Wirkung eines thermo-elektrischen Stroms zum Abweichen gebracht wird, die Erscheinungen die umgekehrten sind. Um die Ursache dieser Verschiedenheit kennen zu lernen, brachte man die erhitzte silberne Scheibe auf eine der Flächen der Säule, um auf diese Weise eine Abweichung von 80° hervorzubringen, sodann unterbrach man nach einem Contakt von einigen Sekunden, wenn die Nadel irgend einen Theilstrich des Kreises etwa 30° erreicht hatte, die Kette; die Nadel setzte ihren Weg mit der erlangten Geschwindigkeit bloß bis zu 50° fort; sie hielt still, kehrte zu Null nach mehreren Schwingungen zurück. Dieser Versuch, welcher mehrere Male wiederholt wurde, hat beständig das nämliche Resultat gegeben. Man muß daraus schließen, daß die Scheibe sich nicht unmittelbar in ein Temperaturgleichgewicht mit der Oberfläche der Säule setzt, daß die Scheibe entweder ein ausgezeichneter oder schlechter Wärmeleiter sei, so daß der beobachtete Isochronismus von der Fortpflanzung der Wärme in der erhitzten Oberfläche der Säule abhängt.

Wenn man zwei Korkscheiben, die auf die angegebene Weise angeordnet sind, von denen jedoch die eine eine glatte Oberfläche, die man mit einem schneidenden Instrumente erhält, und die andere eine mit Rauhheiten bedeckte Oberfläche hat, rasch aneinander reibt, und man zugleich die beiden geriebenen Oberflächen an beide Flächen der Säule bringt, um zu erfahren, ob jede von ihnen entweder dieselbe Temperatur angenommen hat oder nicht, so erhält man einen Strom, dessen Richtung, die von einer Differenz in den thermo-elektrischen Strömen herrührt, anzeigt, daß die Scheibe, welche an der Oberfläche mit Rauhheiten bedeckt ist, eine höhere Temperatur als die andere in einem solchen Verhältnisse besitzt, daß die Abweichung der Nadel sich von 10 Grad bis zu 1^{o} verändert, je nachdem man mehr oder minder stark gerieben hat.

Ein Stück polirtes Glas und ein Stück mattes Glas bringen dieselbe Wirkung hervor, d. h. das erste nimmt weniger Wärme an. Es scheint daraus hervorzugehen, daß die Oberflächen, welche die größte absorbirende Kraft besitzen, die sind, welche sich am meisten erhitzen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer gewissen Anzahl von Versuchen, welche man bei der Reibung, die eine Minute lang dauerte, erhielt.

Geriebene Substanzen.	Temperaturunterschied in größerem oder geringerem Mittel.	Abweichung der Magnetnadel. Abweichungen.	Metalle, welche allein funktioniren.
polirtes Glas	mehr	$38^{o}, 41^{o}, 42^{o}$	34^{o}
Kork . . .	minder		5^{o}
Silber . .	mehr	$32^{o}, 33^{o}, 35^{o}, 33^{o}$	50^{o}
Kork . . .	minder		12^{o}
Silber . .	1r Augbl. mehr	$3^{o}, 2^{o}$, 0, 2, 3, 10	"
Polirtes Glas	2r " minder	9, 8, 13, 14	"

Geriebene Substanzen.	Temperatur-unterschied in größerem oder geringerem Mittel.	Abweichung der Magnetnadel. Abweichungen.	Metalle, welche allein funktioniren.
Kautschuk . .	mehr	30°	29°
Kork . . .	minder		11°
Mattes Glas	mehr	48°	40°
Kork . . .	minder		7°
Eisen . . .	mehr	64°	6°
Kork . . .	minder		53°
Silber . . .	mehr	47°	
Weißer Atlas	minder		
Silber . .	mehr	3°	
Schwarzer Atlas	minder		
Schwarzer Atlas	mehr	6°	
Kork . . .	minder		
Kork . .	mehr	27°	
Siegellack . .	minder		
Gold . . .	mehr	30°	
Kork . . .	minder		
Siegellack .	mehr	5°	
Mattes Glas	minder		

Andere Reihe von Versuchen.

Die Körper waren in Scheiben von acht Millimeter Durchmesser und drei Millimeter Dicke geschnitten: die Reibung dauerte eine Minute:

Isländischer Spath . . mehr	1ter Versuch . .	13°
Kork . . . . minder	2ter „ . . .	14
. . . .	3ter „ . . .	16
Polirter Bernstein . . mehr	1ter Versuch . .	28
Kork . . . . minder	2ter „ . . .	32
. . . .	3ter „ . . .	30

Aus allen diesen Resultaten zieht man folgende Schlüsse:

1) Bei dem polirten Glase und dem Korke nimmt das erste in einem solchen Verhältnisse mehr Wärme als das zweite an, daß, da jedes von ihnen besonders wirkt, die Abweichungen der Magnetnadel sich wie

34:5 verhalten, und da diese Abweichungen gleichen Stroms-Intensitäten von 39 und 5° entsprechen, so folgt daraus, daß die Wärmemengen, welche während der Reibung erhalten und auf die Säule übertragen wurden, unter sich in demselben Verhältnisse stehen.

2) Bei mattem Glase und dem Korke verhalten sich die Abweichungen wie 40 : 7, und die Intensitäten des Stroms wie 37 : 7.

3) Bei Silber und Kork ist das Verhältniß der Abweichungen wie 50 : 12; und das der Intensitäten wie 78 : 12.

4) Bei dem Kautschuk und dem Korke ist das Verhältniß der Abweichungen wie 39 : 11, und das der Intensitäten wie 31 : 11.

Die vorhergehenden Versuche sind zwar angestellt worden, ohne die Reibung genauen Messungsmitteln zu unterwerfen; indem man aber operirt, wie ich bereits angegeben habe, so gelangt man bald zu einer hinreichenden Geschicklichkeit, damit die Resultate, wenn man die Versuche wiederholt, wenig Unterschied zeigen. Auf diese Weise hat man bei dem Silber und dem Korke nach und nach gleiche Abweichungen mit 32°, 33°, 36°, 35°, und bei dem Silber und dem polirten Glase 10°, 9°, 13°, 8°, 11°, bekommen. Aus den Resultaten, welche in den vorhergehenden Tabellen angegeben wurden, kann man noch kein einfaches Gesetz in Betreff der Wärmeentwicklung durch Reibung, wegen der verschiedenen Ursachen, welche zur Hervorbringung dieses Phänomens beitragen, ableiten; man sieht aber, daß die Natur der Körper, indem man von ihrem Leitungsvermögen abstrahirt, einen Einfluß ausübt, welchen der Zustand der Oberflächen nicht immer aufhebt.

Bis jetzt ist es unmöglich, die wirkliche Ursache dieses Einflusses wahrzunehmen, welcher von der Natur der Körper und wahrscheinlich von der An=

ordnung ihrer Moleküle abhängt; aber es ist schon etwas, diese Thatsache angegeben zu haben, weil es ein Element weiter gibt, welches in Zukunft bei den Untersuchungen, die sich auf die Wärmeerzeugungen beziehen, in Betracht gezogen werden kann. Wenn die Reibung Wärmeerscheinungen hervorbringt, deren Gesetze sehr complicirt sind, so muß man sehr bedeutende Erscheinungen bekommen, wenn man die Moleküle der Körper bis zur Vernichtung der Aggregationskraft erschüttert. Man hat in dieser Beziehung noch keinen Versuch angestellt, und gewiß müßten sie das größte Interesse haben; aber die Experimentirungsmittel zeigen große Schwierigkeiten.

Die Versuche, die wir so eben erklärt haben, zeigen von wie vielen Schwierigkeiten die Untersuchungen umgeben sind, welche sich auf die Gesetze beziehen, die bei der Wärmeentwicklung durch Reibung vorherrschen.

Ehe wir schließen, glauben wir eine Experimentirungsart, welche einige dieser Schwierigkeiten beseitigt, anzeigen zu müssen. Wir nehmen an, man wolle die Wärme haben, welche durch die Reibung zweier kleinen Scheiben entwickelt wurde; nachdem man jede von diesen Scheiben an einem Stiele, der ein schlechter Wärmeleiter ist, auf die früher angegebene Weise befestigte, und an den Stiel einen Schirm von Pappe anbrachte (Fig. 14), um sie vor der Wärmestrahlung der Hand zu schützen, nimmt man zwei Nadeln, wovon die eine aus Stahl, die andere aus Kupfer besteht, die an einem ihrer Enden zusammengelöthet sind. Man legt diese Nadeln auf die Scheiben, so daß die Löthungen so nahe als möglich an die Oberflächen gebracht werden, welche der Reibung unterworfen werden, dann bringt man diese Nadeln einerseits mit einem Kupferdrahte, andrerseits mit dem thermo-elektrischen Multiplikator in Verbindung; von dem Augenblick an, wo sich die

Oberflächen durch die Wirkung der Reibung erhitzen, erhitzen sich die Löthungen gleichfalls, und die Magnetnadel weicht ab, nach den Enden der beiden Nadeln, welche durch das Dazwischenkommen des Kupferdrahtes communiciren, bekommt man die Summe oder die Differenz der Wärmeerscheinungen; nach diesem zeigte, wenn man anfänglich zwei Versuche anstellt, um die Summe, dann die Differenz zu erhalten und jedesmal wartet, bis die Scheiben eine constante Temperatur angenommen haben, damit die Nadel stationär sei, die halbe Summe und die halbe Differenz der Zahlen, die elektrischen Intensitäten der Ströme und folglich die Temperaturen einer jeden Scheibe an. Wenn man außerdem das Gewicht, die specifische Wärme der Scheiben und die der Nadeln, als auch das Gewicht und die specifischen Wärmen des Theils der verbundenen Nadeln kennt, so ist es leicht, die absolute Menge der entwickelten Wärme zu finden. Dieser Zusatz zu der Versuchsart wurde von meinem Sohne Edmund angegeben.

Zweites Kapitel.

Von den elektrischen Erscheinungen, welche vermittelst der Wärme hervorgebracht wurden.

Man sah, daß die Wärme und der Zustand der Körper einen großen Einfluß auf die Entwicklung der Elektricität, durch Reibung ausübte und daß die Körper, welche eine höhere Temperatur hatten oder welche sich am meisten erhitzten, die negative Elektricität anzunehmen suchten. Man mußte daraus schließen, daß so innige Verhältnisse zwischen der Wärme und Elektricität stattfinden, daß die eine die Erzeugung der anderen begleitet und vice versa. Die Verhältnisse zwischen der Wärme und dem elek-

trischen Fluidum, fangen demnach an, sich vor unsern Augen auf eine so innige Weise zu zeigen, daß wir sie mit Sorgfalt studiren müssen, um so mehr, als sie zu der elektro-chemischen Theorie, die wir später vortragen, dienen.

Wir beginnen mit dem Studium der Wirkung der Wärme, um elektrische Erscheinungen hervorzurufen, zuerst bei den leitenden Körpern, hierauf bei denen, die schlechte Leiter sind, und dann werden wir uns mit der Wärme, welche durch die Elektricität hervorgebracht wird, beschäftigen.

Wenn man einen Platindraht in eine Glasröhre, die an einem ihrer Ende an der Lampe geschlossen wurde, bringt, und man das freie Ende des Drahtes mit der oberen Platte eines platinirten oder vergoldeten Condensators verbindet, indem man mit dem Finger die untere Platte berührt, und wenn man mit einer Weingeistlampe den geschlossenen Theil der Lampe zum Glühen bringt, so erhält man durch Trennung der Platten, keine elektrische Ladung. Wenn man aber um das Ende der Röhre, welches geschlossen wurde, das Ende a eines Platindrahtes, dessen freies Ende b mit dem Boden in Verbindung steht, wickelt, und den umwickelten Theil bis zum Weißglühen erhitzt, so überträgt der innere Draht dem Condensator eine sehr merkbare Ladung von positiver Elektricität. Da nun die Punkte a und b nicht die nämliche Temperatur haben und das Glas, welches sie trennt, Leiter der Wärme geworden ist, so muß demnach das untere Ende b, welches weniger warm als das Ende a ist, negative Elektricität und a positive Elektricität annehmen. Dieses Resultat führt zu einem wichtigen Principe, welches wir hier angeben wollen: Wenn ein nicht oxydirbarer Metalldraht (Fig. 15 Taf. VI.) oder eine Reihe von Partikelchen a, a′, a″ u. s. w., welche unter sich durch die Cohäsionskraft verbunden sind, an einem

von ihren Enden a mit einer Wärmequelle b von beliebiger Natur in Berührung gebracht werden, so nimmt im Augenblicke, wo die Wärme anfängt sich in dem Drahte fortzupflanzen, dieses Ende positive Elektricität an, während die negative Elektricität sich gegen die Quelle kehrt; da aber a′ Wärme von a durch Strahlung erhält, weil die Wärme sich von Partikelchen zu Partikelchen fortpflanzt, und a″ von a′ und so fort, so nimmt das zweite Partikelchen, welches sich auf Kosten des ersten erwärmt, diesem jeden Augenblick positive Elektricität und theilt ihm negative Elektricität mit, bis das Gleichgewicht der Temperatur unter ihnen wiederhergestellt ist. Da auf der andern Seite die Zerlegung des elektrischen Fluidums unmittelbar auf eine Wiedervereinigung der beiden elektrischen Fluida folgt, so entspringen daraus eine Menge von Zersetzungen und Wiedervereinigungen des elektrischen Fluidums, die nur dann aufhören, wenn das Gleichgewicht der Temperatur in allen Theilen vollkommen hergestellt ist; nach diesem kann es nur an den beiden Enden freie Elektricität geben. Wenn man demnach das glühende Ende mit einem leitenden, ziemlich voluminösen Körper, z. B. mit einem Stück feuchten Papiers oder einem Stück nassen Holzes berührt, so entzieht man diesem Ende seine positive Elektricität und es bleibt dem Drathe nur die negative Elektricität. Dieser Versuch beweist, daß, während der Bewegung der Wärme in einer Metallstange, sich eine Reihe von Zerlegungen und Wiedervereinigungen des elektrischen Fluidums bewerkstelligt, welche mit der Fortpflanzungsart der Wärme in den Körpern Analogie haben. Der folgende Versuch bestätigt diese Ansichtsweise:

Es sei eine Kette, welche von einem Platindraht gebildet wurde, dessen beide Enden mit einem thermoelektrischen Multiplikator in Verbindung stehen; wenn man die Temperatur von irgend einem Theile des

Platindrahts, welcher von den Löthungen entfernt ist, erhöht, so kann das Gleichgewicht der elektrischen Kräfte, wegen der Homogenität aller Theile und auch deßwegen nicht gestört werden, weil die Fortpflanzung der Wärme rechts und links von den erhitzten Punkten auf ganz gleiche Weise vor sich geht. Es verhält sich jedoch nicht mehr so, wenn man in geringer Entfernung von dem Wärmepunkt f entfernt eine Schleife oder Spirale in 0 bildet; es erzeugt sich alsdann ein Strom, dessen Richtung angibt, daß die Spirale die positive Elektricität angenommen hat; da es nun in diesem Theile keine Löthung gibt, so muß man daraus schließen, daß die elektrische Erscheinung von einer Differenz in der Fortpflanzung oder der Bewegung der Wärme rechts und links vom Punkte f in Folge der Gegenwart der Spirale herrühre; die Metalldrähte, als gute Leiter der Wärme, bringen keine Erscheinungen hervor.

Man erhält mit denen, welche wir so eben angegeben haben, analoge Wirkungen, wenn man die Stetigkeit in einem Platindrahte aufhebt. Wir nehmen an, es seien an den beiden Enden des Drahtes eines Multiplikator zwei vollkommen homogene Platindrähte befestigt, die sich in eine Spirale endigen; tauchen wir eine dieser Spiralen in die Flamme einer Weingeistlampe, ziehen sie, wenn sie glüht, zurück, und legen sie auf diejenige, welche die gewöhnliche Temperatur hat; so entsteht ein elektrischer Strom, dessen Richtung von der Art ist, daß das Ende, welches erwärmt wurde, dem andern die positive Elektricität entzieht. Mit zwei vollkommen gereinigten Kupferdrähten erhält man nur in so weit einen Strom, als eine von den Spiralen ursprünglich oxydirt ist, um das Leitungsvermögen zu vermindern. Die Anwendung einer sehr dünnen Schichte von reinem Quecksilber, Zinn, Gold oder Silber bei der Spirale bringt eine ähnliche Wirkung hervor;

es ist, mit einem Worte, hinreichend, die Fortpflanzung der Wärme zu verändern, um eine Elektricitätsentwicklung zu erhalten. Das Gold und das Silber zeigen, wenn sie rein sind, dieselben Erscheinungen, wie das Kupfer; wenn sie aber Kupfer enthalten, so ist die Oxydschichte, welche sich beim Erhitzen bildet, hinreichend, um der Fortpflanzung der Wärme Hindernisse entgegenzustellen. Will man einen stetigen Strom haben, so nimmt man zwei Kupferdrähte, von denen jeder an einem Ende mit einem der Enden des Drahts eines Multiplikators in Verbindung steht; man vereinigt die beiden freien Enden mit Hülfe zweier Haken, die in einander greifen, und bringt sie rechts oder links von dem Vereinigungspunkte mit einer Weingeistlampe zum Glühen; es erzeugt sich ein elektrischer Strom, welcher sich von der erwärmten Seite nach der kalten richtet, sobald die Kupferoberfläche mit einer Oxydschichte bedeckt ist. Durch Operiren mit oxydirbaren Metallen, wie z. B. mit Antimon, Zink und Eisen, sind die Erscheinungen umgekehrt, d. h. der Strom geht von der Kälte zur Wärme. Die Oxydation ist nicht die einzige Ursache dieser Umkehrung, denn wenn es so wäre, so würde die erwärmte Seite, welche die angegriffenste ist, fortfahren negativ zu sein.

Das Blei und das Zinn geben wegen ihrer Heterogenität veränderliche Erscheinungen. Man hat aus dem Vorhergehenden wirklich gesehen, daß, wenn die Drähte oder metallische Massen fremde Körper verhüllen, welche die Fortpflanzung der Wärme zu modifiziren suchen, die beiden Elektricitäten sich an dem Punkte trennen, wo sich diese fremden Körper befinden. Man hat ein Beispiel davon an dem Eisen, das fast von Kohlenstoff oder Oxyd frei ist; wenn man mit einem Eisendrahte, der in Verbindung mit einem Multiplikator steht, über die Flamme einer Weingeistlampe nach und nach mit allen Punkten

fährt, indem man die Temperatur bis zum Glühen steigert, und die Flamme von den Löthungen entfernt, um sie nicht zu erhitzen, so erhält man oft einen elektrischen Strom, welcher nur der ungleichen Fortpflanzung der Wärme in zwei an einander stoßenden Theilen zugeschrieben werden kann; da aber auch alle Theile diese Erscheinung veranlassen, so kann man sie der Gegenwart fremder Körper zuschreiben.

Es folgt aus den vorhergehenden Thatsachen, daß, wenn man zwei Platindrähte von verschiedenem Durchmesser nimmt, welche mit einem ihrer Ende mit dem Multiplikator in Verbindung und mit ihrem freien Ende, welches sich in einen Ring endigt, in Contakt stehen und man den Ring des feinsten Drahtes in die Flamme einer Weingeistlampe taucht, man einen stetigen Strom, wegen der ungleichen Fortpflanzung der Wärme, in den beiden Drähten erhalte. Wir wiederholen nochmals, daß alle Ursachen, welche die Fortpflanzung der Wärme zu modifiziren suchen, das Gleichgewicht der elektrischen Kräfte stören. Wir führen den folgenden Versuch an, welcher zu dem vorhergehenden gehört: Peltier richtete einen Metalldraht von 6 Meter Länge her, der aber in mehreren Theilen von verschiedenem Durchmesser war; drei dieser Theile hatten ein Millimeter zum Durchmesser, drei andere einen halben Millimeter, und dies ohne irgend eine Löthung; der Draht war immer vollkommen homogen und ohne Löthung. Da jeder fremde Einfluß entfernt wurde, so konnten die Erscheinungen, die dadurch hervorgebracht wurden, daß man die Punkte erhitzte, wo der Draht einen andern Durchmesser bekam, nur der Verschiedenheit zugeschrieben werden, welche bei der plötzlichen Veränderung der Fortpflanzung der Wärme stattfand. Der elektrische Strom ging beinahe immer von der erwärmten Seite zur kalten Seite; wenn man eine Anomalie findet, so ist die

Erscheinung umgekehrt; es existiren oft heterogene Theile, welche die so eben angegebene Resultate compliciren; indem man diesen Draht verkürzt, kann man den Punkt finden, welcher eine neutrale Erscheinung gibt, weiter hinaus findet man die vorher angegebenen Wirkungen wieder. Wenn man mit einem Kupferdrahte operirt, so muß man warten, bis das Gleichgewicht vollkommen hergestellt ist, ehe man mit dem Versuche beginnt.

Man muß es demnach als bewiesen ansehen, daß, wenn die Wärme in einen Körper geht, an dem Orte, wo sie ein Hinderniß antrifft, Trennung der zwei Elektricitäten stattfindet, wie wenn die Wärme sich alsdann in ihre zwei Elemente zerlegte. Dieses Hinderniß kann jedoch nicht allein von der Gegenwart fremder Körper herrühren, sondern auch von dem krystallinischen Zustand der Körper, vermöge dessen, da die Elasticität der Theile nicht nach allen Richtungen die nämliche ist, die Fortpflanzung der Wärme nicht gleichförmig sein kann. Zwei Beispiele werden hinreichen, um die thermo-elektrischen Wirkungen, welche in diesem Falle hervorgebracht werden, zu zeigen.

Wenn man in einem Rechtecke a b c d (Taf. VI. Fig. 16), welches aus vier Platten Wismuth, die an ihren Enden zusammengelöthet sind, besteht, die Temperatur der verschiedenen Theile vermittelst einer Weingeistlampe erhöht, und man über das Rechteck eine Magnetnadel, welche außerordentlich empfindlich schwebt, stellt, so findet man folgende Erscheinungen:

Wenn man den Punkt

a	erwärmt,	so geht	der	Strom	von	b	nach	a;
b	"	"	"	"	"	b	"	a;
c	"	"	"	"	"	b	"	a;
d	"	"	"	"	"	a	"	b.

Sturgeon, dem man diesen Versuch verdankt, fand nach einigen Proben, indem er etwas von b ent-

fernt erhitzte, einen Punkt, der keinen Strom gab. Diese Erscheinungen sind von einem Rechtecke zum anderen verschieden, weil sie von der Construktion und dem krystallinischen Zustande einer jeden Stange und den Löthungen abhängen. Um dieses letzere zu beweisen, nehmen wir einen rechteckigen Stab von Wismuth ac (Fig. 17 Taf. VI.).

Indem man ihn in b erhitzt, so wird er stark magnetisch; der Strom richtet sich nach der Seite c; zwei Flächen bleiben im neutralen Zustande. Wenn jedes Ende c gleichförmig erhitzt wurde, so erreichte der Strom das Intensitätsmaximum, und ging durch dieselben Flächen des Prismas, indem er sich nach der umgekehrten Richtung bewegte. Indem man gleichförmig das Ende a erhitzt, so erzeugt sich kein Strom, bis die Wärme zum Punkte b gelangt ist, die Erscheinung ist alsdann die nämliche, wie wenn man diesen Punkt erhitzt hätte. Durch Wegschaffung des neutralen Endes, wird der Rest des Stabes magnetisch, welches auch das Ende ist, an dem die Wärme angewandt wurde.

Wir werden die Untersuchungen der elektrischen Erscheinungen, welche in Massen entstehen, die aus einem Metall, welches leicht krystallisirt, gebildet sind, nicht weiter verfolgen, weil sie in Beziehung auf die Unmöglichkeit, in der man sich bei Bestimmung des krystallinischen Zustandes der Theile befindet, auf kein Gesetz führen können. Es verhält sich aber nicht so mit den thermo-elektrischen Erscheinungen, welche in geschlossenen Ketten, die aus zwei verschiedenen Metallen bestehen, hervorgebracht werden; sie sind sehr merkwürdig, denn sie knüpfen sich an die elektrischen Reibungs-Erscheinungen, und an eine Eigenschaft der Wärme der Körper an, von der bald die Rede sein wird. Man sah, daß man in einem Platindrahte einen stetigen Strom erhielt, wenn man durch die Vereinigung der beiden freien Ende, mit

Hülfe zweier in einander greifenden Ringe, den Wärmepunkt rechts oder links, von den Vereinigungspunkten anbrachte, und daß es sich ebenso verhielt, wenn man mit zwei Kupferdrähten operirte, von denen eine der Oberflächen vorläufig oxydirt wurde. Wenn jedoch der Versuch mit zwei verschiedenen Metalldrähten angestellt wird, welche an ihren Enden zusammengelöthet oder bloß durch einen starken Druck vereinigt waren und mit dem andern in Communikation mit einem Multiplikator standen, so hat man Ströme, welche die Metalle in folgende Ordnung zu stellen erlauben: Wismuth, Platin, Blei, Zinn, Kupfer, Gold, Silber, Zink, Eisen und Antimon. In dieser Klassifikation ist jedes Metall, in Beziehung auf das vorhergehende positiv und in Beziehung zum nachfolgenden, negativ; diese Ordnung ist genau dieselbe, welche wir bei den elektrischen Erscheinungen durch Reibung angegeben haben, und welche wir nicht ganz der entwickelten Wärme zuschreiben konnten, denn wenn man anstatt zwei Platten leicht aneinander zu reiben, sie wiederholt schlägt, indem man die Seitenreibungen vermeidet, so erzeugt sich kein Strom, obgleich mehr Wärme entwickelt wird als in dem ersten Falle; es muß also, weil die nämlichen Punkte der Oberfläche in Berührung bleiben, 1) die Elektricität, welche auf jeder derselben entwickelt wurde, nicht nothwendig haben, um sich wieder zu verbinden, dem Drahte des Multiplikators zu folgen, da die Vereinigung unmittelbar vor sich geht; 2) die Wärme, welche durch die Reibung erzeugt wurde, nicht die einzige Ursache der elektrischen Erscheinungen sein, denn diejenige, welche sich bei einem heftigen Stoße erzeugt, ist wahrscheinlich stärker als die, welche durch ein schwaches Reiben hervorgebracht wird.

Wenn man durch eine Flüssigkeit eine thermoelektrische Kette aus zwei Platinplatten, welche in diese Flüssigkeit eintauchten und mit Platten oder Me-

talldrähten in Communikation stehen, unterbricht, so erhält man nur einen schwachen Strom, wenn man die Löthung erhitzt; dies rührt davon her, daß die Flüssigkeit, wegen ihres schlechten Leitungsvermögens, die Wiedervereinigung der beiden Elektricitäten im Contakte mit beiden Metallen bewirkt. Verschiedene mineralische Substanzen, wie z. B. das Wasserblei, das Mangansuperoxyd, Eisensulfid, können dazu dienen, thermoelektrische Ketten zu bilden. Das Wasserblei ist in Beziehung zum Platin positiv, während das letztere in Beziehung auf das Mangansuperoxyd und Eisensulfid positiv ist.

Indem man unter den Eigenschaften der Wärme diejenigen untersucht, welche einige Beziehung zu den vorhergehenden haben, so findet man nur die specifische Wärme, denn die Ordnung der Metalle, welche nach ihrer specifischen Wärme gereiht sind, ist: Wismuth, Blei, Gold, Platin, Silber, Antimon, Zink, Kupfer und Eisen. Obgleich in den beiden Tabellen die Ordnung jedes Metalls nicht dieselbe ist, so sieht man indessen doch, daß die elektronegativsten Metalle, mit wenig Ausnahme, beinahe diejenigen sind, welche die geringste specifische Wärme besitzen. Die Wärmecapacität kann demnach bis zu einem gewissen Punkte auf die thermo-elektrischen Phänomene influiren. Ueberdies haben wir gesehen, daß das Leitungsvermögen für die Elektricität gleichfalls eine von den Ursachen der thermo-elektrischen Erscheinungen war, demnach sind es zwei, welche zur allgemeinen Erscheinung beitragen. Wir wollen die Untersuchung dieser Phänomene fortsetzen.

Man nimmt eine Kette, die aus verschiedenen Metalldrähten besteht, in welcher das Kupfer und das Eisen zuerst in unmittelbarer Berührung in a sind und überdies überall an den Löthungen b und c, d und e, f und g von Platin, Gold- und Zinndrähten getrennt werden. Man fängt damit an, die Löthung

a auf 50° zu bringen, während man alle andern auf Null erhält; man beobachtet alsdann die Intensität des Stromes; hierauf bringt man nach und nach die Löthungen b und c, d und e, f und g auf 50°, indem man gleichfalls alle andern auf Null erhält. Unter diesen verschiedenen Umständen haben die hervorgebrachten Ströme immer dieselbe Intensität, so daß das Eisen und das Kupfer, wenn sie mit anderen Metallen in Berührung oder getrennt sind, einen elektrischen Strom hervorbringen, dessen Intensität die nämliche ist. Diese Intensität hängt folglich nur von der Temperatur der beiden äußersten Punkte ab. Diese Thatsache ist sehr wichtig, weil sie zu beweisen sucht, daß der Strom nicht von einer Wirkung des Contaktes entsteht, sondern von einer Differenz in der Wirkungsart der Wärme auf jedes Metall insbesondere herrührt.

Wir nehmen jetzt eine Kette, die aus einem Kupferdrahte und einem Eisendrahte besteht, die an ihren Enden zusammengelöthet sind, und wir wollen die beiden Löthungen ungleich erhitzen, um zu erfahren, nach welchem Gesetze die Intensität des Stromes sich verändert.

Temperaturen			Abweichungen der Magnetnadel.	Entsprechende Intensität des Stroms.
der ersten Löthung		der zweiten Löthung		
1ter Versuch	50	00	7°,15	11
	100	00	12 ,75	22
	150	00	16 ,00	31
	200	00	18 ,00	37
	250	00	19 ,00	40
	300	00	00 ,00	00

Temperaturen			Abweichung der Magnetnadel.	Entsprechende Intensität des Stroms.
der ersten Löthung		der zweiten Löthung		
2ter Versuch	50	50	00°,00	00
	100	ditto	7 ,25	11
	150	ditto	11 ,75	20
	200	ditto	14 ,00	26
	250	ditto	15 ,25	29
	300	ditto	16 ,00	30,50
3ter Versuch	50	00	00 ,00	00
	100	100	00 ,00	00
	150	ditto	6	9
	200	ditto	9 ,50	15
	250	ditto	11	18
	300	ditto	00	00

Die Resultate, welche in dieser Tabelle aufgezeichnet sind, führen zu folgenden Schlüssen:

Die Intensität 11 des Stromes, welcher von den Temperaturen 100° und 50° in dem zweiten Versuche hervorgebracht wurde, ist gleich der Differenz der Intensitäten 22 und 11 der im ersten Versuche erhaltenen Ströme für die Temperaturen 100° und 50° derselben Löthung, da die andere Null war. Ebenso ist die Intensität 20 des zweiten Versuchs gleich der Differenz der Intensitäten 31 und 11 des ersten Versuchs, welcher den Temperaturen 50° und 100° entspricht. Aus dieser Regel schließen wir, daß, wenn man in der Kette von Kupfer und Eisen, jede Löthung auf eine verschiedene Temperatur erhebt, die Intensität des Stromes der Differenz der Intensitäten des Stromes gleich ist, welcher nach und nach von jeder dieser Temperaturen, während die andere Null war, hervorgebracht wurde und nicht der Intensität des Stromes, welcher aus der einzigen Temperaturdifferenz allein entspringt.

Es ist im Allgemeinen leicht zu beweisen, daß die hervorgebrachten Erscheinungen der Bewegung von der Wärme und nicht von der Oxydation herrühren, weil dieselben Wirkungen in Sauerstoff freien Mitteln stattfinden.

Wir wollen jetzt sehen, welchen Gang die Intensität des Stromes einschlägt, wenn man, während eine der Löthungen eine constante Temperatur hat, die der andern nach und nach erhöht.

Wenn man mit einer Kette operirt, welche aus einem Platin- und Palladiumdraht besteht, so findet man, daß von Null bis zu 350° für jede gleiche Zunahme der Temperatur, die Intensität des Stromes um dieselbe Menge wächst. Es verhält sich jedoch bei Ketten, die aus andern Metallen bestehen, nicht so, wenigstens über gewisse Gränzen hinaus, wie man in der folgenden Tabelle sehen kann.

Bezeichnung der Kette.	Temperatur einer von den Löthungen, während die andere Null ist.	Abweichung der Magnetnadel.	Beobachtungen.
+ − Eisen-Kupfer . .	50	10°	Beim dunklen Glühen verändert die Abweichung die Richtung.
	100	20	
	150	25	
	200	27,50	
	250	28,50	
	300	29	
+ − Silber-Zink . .	0	0	
	20	2	
	39	4	
	58	6	
	80	8	
	120	10	
	160	8	
	187	6	
	207	4	
	215	2	
	225	0	

Bezeichnung der Kette.	Temperatur einer von den Löthungen, während die andere Null ist.	Abweichung der Magnetnadel.	Beobachtungen.
+ — Zink-Silber . .	225	0	
	236	2	
	247	4	
	253	6	
	262	8	
	270	10	
	281	12	
	300	14	
	290	12	
	282	10	
Bei Zink und Gold ist bei 70° die Variation ungefähr zwei Grad, indem man jedoch fortfährt, die Temperatur zu erhöhen, so wird sie vermindert und bei 150° ist sie 0: sie fängt alsdann in umgekehrter Richtung wieder an.			
+ — Gold-Zink . . .	150	0	
	180	2	
	195	4	
	219	6	
	220	8	
	240	10	
	255	12	
	275	14	

Man zieht folgende Schlüsse aus den in dieser Tabelle aufgezeichneten Resultaten:

1) Bei einer Kette Eisen und Kupfer wächst, während eine der Löthungen Null ist und die andere von 0 bis 300° zunimmt, die Intensität des Stromes nicht mit der Temperatur proportional, bei 300° ist sie kaum wahrnehmbar; wenn man aber fortfährt, die Temperatur zu erhöhen, so wird der Strom stationär, seine Intensität fängt an, abzunehmen und er verändert endlich seine Richtung, wenn die Temperatur beim Dunkelglühen ist.

2) Das Zink und Silber, das Zink und Gold geben ähnliche Erscheinungen. Das Silber ist zuerst positiv; der Strom nimmt bis 120° an Intensität zu, nimmt ab, wird Null, um sich in umgekehrter Richtung wieder zu erzeugen, d. h. das Zink wird positiv und behält diesen Zustand bis zum Schmelzen. Sobald als man die Temperatur zu erhöhen aufhört, nimmt der Strom ab und nimmt endlich seine erste Richtung wieder an; das Gold verhält sich wie das Silber. Welches ist die Ursache dieser besonderen Erscheinung? Man kann sie nur den Modifikationen im Aggregationszustande der Moleküle und einem mehr oder minder unvollkommenen Contakte, wenn man die beiden Metalle auf einander legt, und nicht der Wirkung der Luft auf das Zink zuschreiben, denn die Erscheinung findet ebenfalls Statt, wenn die Löthung in Oel, das frei von Luft und Wasser ist, getaucht wird.

Die Kette Eisen und Kupfer gibt immer die vorher angegebenen Erscheinungen, welches auch der Durchmesser der Drähte und ihre Berührungsart sein mag, ob sie gelöthet oder mit Hülfe eines starken Druckes an einander gepreßt sind; es verhält sich aber nicht so mit einer Kette Zink und Gold, Zink und Silber. Die Erscheinungen sind nach dem Durchmesser der Drähte und ihrer Berührungsart, an Intensität verschieden; manchmal ist sogar der erste Strom kaum wahrnehmbar. Die vorhergehenden Ketten sind die einzigen, welche bis jetzt ähnliche Erscheinungen gezeigt haben; denn bei den Ketten, die aus andern Metallen bestehen, wächst die Intensität des Stromes mit der Temperatur proportional bis wenigstens zu 100°; in der folgenden Tabelle hat man davon den Beweis bis zu 40°.

Metalle, woraus die Kette besteht.	Temperatur einer Löthung, während die andere Null ist.	Abweichung der Magnetnadel.	Intensität des Stroms.	Berechnete Intensität
Eisen und Kupfer .	10	28	20	20
	20	41	40,70	40
	30	48	59,92	60
	40	"	"	80
Kupfer und Platin .	10	18	10	10
	20	28	20	20
	30	36	30,28	30
	40	41	40,40	40
Silber und Zinn .	10	28	20	20
	20	41	40,70	40
	30	48	59,92	60
	40	"	"	"
Kupfer und Silber	10	13	6,60	6,71
	20	22	13,30	13,42
	30	28	20	20,13
	40	34	27,20	26,84

Alle diese Resultate sind nicht unter sich vergleichbar, weil das Leitungsvermögen jeder Kette nicht das nämliche ist; sie können demnach nicht zur Bestimmung des Verhältnisses dienen, welches zwischen den Intensitäten der Ströme, welche von verschiedenen Ketten hervorgebracht wurden, und folglich zwischen dem thermo-elektrischen Vermögen eines jeden Metalls, d. h. dem Vermögen, das jedes Metall besitzt, die Elektricitätsmenge bei seiner Berührung mit einem anderen Metalle, bei einer gegebenen Temperatur auszuströmen besteht. Um diesen doppelten Zweck zu erfüllen, operirt man mit einer Kette, die aus Drähten von allen den Metallen, deren thermo-elektrisches Vermögen man finden will, besteht. Wenn man die Kette nicht verändert, so ist die Leitungsfähigkeit immer dieselbe und die Resultate werden unter sich vergleichbar. Alle Löthungen werden auf

der Temperatur Null erhalten, mit Ausnahme derjenigen, mit der man experimentirt; die folgende Tabelle zeigt die Resultate, welche man mit einer Kette erhält, die aus Drähten von acht verschiedenen Metallen besteht, von denen jeder zwei Decimeter lang und einen halben Millimeter dick ist, die mit Sorgfalt an ihren Enden gelöthet waren und deren Enden mit einem Multiplikator mit kurzem Drahte in Verbindung stehen.

Bezeichnung der Löthungen.	Temperatur der Löthung, welche dem Versuche unterworfen wird.	Entsprechende Abweichung der Magnetnadel.	Intensität des elektrischen Stroms.
+ − Eisen, Zinn . . .	20	36,50	31,21
+ − Kupfer, Platin .	20	16,00	8,55
+ − Eisen, Kupfer . .	20	34,50	27,96
+ − Silber, Kupfer .	20	4,00	2
+ − Eisen, Silber .	20	33	26,20
+ − Eisen, Platin . .	20	39	36,07
+ − Kupfer, Zinn . .	20	7	3,50
+ − Zink, Kupfer . .	20	2	1,„
+ − Silber, Gold . .	20	1	0,50

Indem man die Intensitäten vergleicht, so findet man, daß bei einer Temperatur von 20° jedes Metall ein solches thermo-elektrisches Vermögen erlangt, daß die Intensität des Stromes, welcher beim Contakt zweier Metalle erzeugt wurde, gleich der Diffe-

renz der Mengen ist, welche jedes dieser Vermögen in jedem Metalle darstellt. Wenn man auf diese Weise dieses Vermögen mit p bezeichnet, so hat man für die Intensität des Stromes, wenn man die Temperatur an der Löthung von Kupfer und Eisen erhöht, p Eisen — p Kupfer = 27,96, ebenso für das Platin und das Eisen, p Eisen — p Platin = 36,07, indem man den ersten Ausdruck von dem zweiten abzieht, so hat man p Kupfer — p Platin = 8,11, anstatt 8,55, was der Versuch gibt. Die Löthung Eisen, Zinn gibt 31,24, die Kupfer, Zinn 3,50, die Differenz Eisen, Kupfer ist demnach 27,74, anstatt 27,96, was der Versuch gegeben hat. Es ist demnach klar bewiesen, daß die Intensität eines thermo-elektrischen Stromes der Differenz der thermo-elektrischen Wirkungen gleich ist, welche in jedem Metalle durch dieselbe Temperatur hervorgebracht wurden; wir wollen jede von diesen Wirkungen zu bestimmen suchen.

Wenn man das Vermögen oder die thermo-elektrische Wirkung des Eisens bei 20″ durch x bezeichnet, so hat man

p Eisen	=	x
p Silber	=	x — 26,20
p Gold	=	x — 26,70
p Zink	=	x — 26,96
p Kupfer	=	x — 27,96
p Zinn	=	x — 31,24
p Platin	=	x — 36

Um x zu bestimmen, müßte man die Intensität des Stromes, der, wenn man mit zwei Eisendrähten operirt, die einen Theil derselben Kette ausmachen und nicht dieselbe Temperatur an den Berührungspunkten haben, erzeugt wird, genau messen können; aber diese Bestimmung zeigt große Schwierigkeiten.

Wenn die Intensität des Stromes immer propor-

tional mit der Temperatur zunähme, so könnten die vorhergehenden Verhältnisse für alle Temperaturen dienen; aber es verhält sich nicht so; es findet nur bei denen Statt, die im Allgemeinen unter 100° liegen.

Bei dieser Anordnung ist jedes Metall, in Beziehung auf das Vorhergehende, positiv. Wenn x bekannt wäre, so könnte man das thermo-elektrische Vermögen daraus ableiten; da aber das Eisen, in Beziehung zu allen Metallen, welche die Kette bilden, positiv ist, so kann man daraus schließen, daß sein Werth im wirklichen Falle höher als 36 ist.

Auf der andern Seite haben das Gold, das Silber, das Zink beinahe gleiche Vermögen. Wenn man nun unter den wärmeerregenden Eigenschaften diejenigen sucht, welche auf eine auffallende Weise dieselben für die verschiedenen Metalle sind, so sieht man nur die Strahlungsvermögen, welche sich darauf beziehen. Indem wir demnach annehmen, daß diese letzteren den thermo-elektrischen Vermögen proportional sind, was zu der Annahme nöthigen würde, daß bei den metallischen Ketten im Contakte ein Strahlen stattfinde, das demjenigen ähnlich ist, welches in der Luft vorkommt, und daß die Differenz der Strahlungsvermögen gleichfalls eine von den Ursachen ist, welche auf die Richtung und die Intensität des Stromes influiren, so gelangt man alsdann jedoch nur für den einzigen Fall dahin, den Werth von x zu bestimmen, denn man hat $x : x - 26{,}70 = 15 : 12.$ 15,12, welches das Strahlungsvermögen des Eisens und des Goldes ist, indem man aus dieser Proportion den Werth von x zieht und ihn in den Ausdrücken p Silber, p Gold u. s. w. substituirt, so findet man:

p Eisen	133,50
p Silber	107,30

p Gold	106,80
p Zink	106,54
p Kupfer	106,54
p Zinn	102,26
p Platin	97,50

Um die Darstellung der Verhältnisse, welche die physikalischen Eigenschaften der Elektricität mit denen der Wärme verbinden, zu vervollständigen, bleibt uns nur zu zeigen übrig, bis auf welchen Punkt die Leitungsvermögen der Körper für die Wärme und die Elektricität dieselben sind. Es ist deßwegen nöthig, sich einerseits auf das Gesetz zu stützen, welches die Intensität des Stromes, als Funktion der Länge und des Querschnitts des Metalldrahtes, welcher ihn leitet, ausdrückt, auf der andern Seite auf das Gesetz der Fortpflanzung der Wärme in den Körpern. Das Gesetz, welches das Leitungsvermögen der Metalle für die Elektricität kennen lehrt, ist auf das Ausführlichste in unserer Abhandlung über die Elektricität und den Magnetismus angegeben worden; wir werden daher nicht mehr auf die Methoden zurückkommen, welche angewendet wurden, um es zu erhalten; wir wollen bloß anführen, daß das Leitungsvermögen im umgekehrten Verhältniß zu der Länge der Drähte oder Stäbe von demselben Metalle und in geradem Verhältnisse zu ihrem Schnitte stehe.

Wir geben hier die elektrischen Vermögen von zehn Metallen, welche von mehreren Physikern bestimmt wurden:

Bezeichnung der Metalle.	Leitungsvermögen (wenn das Platin 100 ist) wurde gefunden von			
	Davy. Volta'sche Elektricität.	Becquerel. Volta'sche Elektricität.	Harris. Gewöhnliche Elektricität.	Pouillet. Elektricität, welche von einem einzigen Paare erhalten wurde.
Silber	600	447	500	602 rein
Kupfer	550	609	500	448 ditto
Zinn.	109	94	83,5	"
Platin	100	100	100	100
Gold	400	571	330	465 ditto
Blei	380	50	41,5	"
Eisen	82	95	100	von 70 bis 81
Zink	"	174	165,5	"
Quecksilber . . .	"	21	"	11
Kalium	"	8	"	"

Die erhaltenen Resultate zeigen oft beträchtliche Verschiedenheiten, welche man nicht allein der mehr oder minder großen Reinheit der angewandten Metalle zuschreiben darf, sondern auch der Natur der Quelle, woraus die Elektricität entspringt; denn je stärker die Spannung ist, desto mehr Kraft hat die Elektricität, um das Beharrungsvermögen schlechter Leiter zu überwinden. Es ist daher nöthig, um alle Resultate vergleichen zu können, daß die angewandte Elektricität dieselbe Spannung habe.

Wenn wir jetzt diese Resultate mit denen vergleichen, welche für das Leitungsvermögen der Wärme von Despretz erhalten wurden, so finden wir:

Gold	1000 . . .	102
Platin	981	100
Silber	973 . . .	99
Kupfer	898,2 . . .	90
Eisen	374,3 . . .	39
Zink	363,0 . . .	37
Zinn	303,9 . . .	30
Blei	179,6 . . .	18.

Wir sehen, daß, das Platin abgerechnet, welches in dieser Tabelle, weil sein Leitungsvermögen wirklich über dem des Silbers und Kupfers steht, nicht an seiner Stelle ist, die Stoffe, welche am besten die Elektricität leiten auch die besten Wärmeleiter sind.

Von den elektrischen Erscheinungen, welche von der Wärme in schlechten Leitern und in verschiedenen mineralischen krystallirten Stoffen hervorgebracht werden.

Nachdem wir die Erscheinungen der Wärme in den Leitern studirt haben, müssen wir die Erscheinungen untersuchen, welche in schlechten Leitern hervorgebracht werden, und das nicht aus dem Auge verlieren, was wir über die Beziehungen, welche zwischen der Wärme und der Elektricität bestehen, gesagt haben. Wir haben gesehen, daß, wenn man einen elektrisirten Körper zu einem andern, der es nicht ist, bringt, die natürliche Elektricität desselben zerlegt wird; die Elektricität mit entgegengesetzten Zeichen von der des anderen wird angezogen, während die gleichnamige in den entferntesten Theil zurückgestoßen wird; die Zerlegung geht um so leichter vor sich, je besserer Leiter der Körper ist. Auf der andern Seite weiß man, daß die Wärme beim Eindringen in die leitenden Substanzen ihr Leitungsvermögen für die Elektricität vermindert, während sie im Glase, Gummilack und anderen schlechten Leitern erhöht; es folgt daraus, daß, wenn man diese letzteren erhitzt, man leicht die Zerlegung des natürlichen Fluidums durch Vertheilung eines elektrisirten Körpers erhält. Wenn man diese Körper jener Vertheilung unterwirft, so erzeugen sich demnach während der Erhitzung oder Abkühlung elektrische Erscheinungen der Zerlegung, welche von dem Leitungsvermögen der nämlichen

Körper abhängen. Wenn man überdies eines der Enden eines Platindrahtes zum Rothglühen erhitzt, so nimmt dieses Ende einen Ueberschuß positiver, das andere einen Ueberschuß von negativer Elektricität an. Es ist äußerst wahrscheinlich, daß die beiden Ueberschüsse bis zur Mitte, welche neutral sein muß, an Intensität abnehmen.

Wir wollen nun sehen, wie es sich in denselben Fällen bei einem schlechten Leiter verhält. Wir geben hier den Apparat, welcher dazu dient, um diesen Versuch anzustellen: man nimmt eine Glasglocke, welche eine Tubulatur hat, in welche ein Stab geht, der mit einer Pincette versehen ist, an welcher das Ende eines Coconfadens befestigt ist, der in die Glocke herabhängt, die man auf eine Metallplatte stellt, deren Temperatur man mittelst einer unter ihr stehenden Weingeistlampe erhöht hat. Am Ende des Coconfadens befindet sich eine papierne Hülse, die vermittelst eines Knotens befestigt ist, und in welche man eine kleine sehr wenig hygrometrische Glasröhre von 1 Millimeter Durchmesser und 1 bis 2 Centimeter Länge bringt; wenn bei der gewöhnlichen Temperatur, die Wände der Glocke vollkommen getrocknet sind und man der kleinen Röhre eine elektrisirte Gummilackstange vorhält, so wird diese kleine Röhre in Folge der Zerlegung ihres neutralen Fluidums, rasch angezogen. Es verhält sich nicht mehr so, wenn die Glocke mit einer Schichte hygrometrischen Wassers überzogen ist; indem man die Temperatur erhöht, zeigt sich nur dann eine Wirkung, wenn dieses Wasser weggebracht ist. Wenn man aber ungefähr bei 25° die Lampe auslöscht, so wird die kleine Röhre alsbald angezogen und dies dauert fort, so lange die Abkühlung dauert. Indem man von Neuem die Temperatur bis zu 30 Grad erhöht, so wird die Röhre nicht allein angezogen, sondern sie erlangt noch elektrische Polarität, welche beinahe gleich ver-

schwindet, wenn der elektrisirte Körper weggenommen wird, während sie, wenn man sie in dem Augenblick, wo man die Lampe auslöscht, entstehen läßt, mehr oder minder lange bleibt, selbst wenn die Temperatur auf 100 und 150° gebracht wurde. Die Polarität zeigt sich daher nur in der Röhre unter dem Einflusse des elektrisirten Körpers im Augenblicke, wo das Thermometer zu fallen anfängt; sie dauert hierauf einen Theil der Abkühlung hindurch fort. Wenn man aber in einem beliebigen Augenblicke die Temperatur des Mittels, wo sich die kleine Glasröhre befindet, erhöht, so verschwindet die Polarität alsbald. Dies ist der Einfluß der Ausdehnung und der Zusammenziehung auf die elektrischen Erscheinungen, welche durch die Vertheilung im Glase hervorgebracht wurden, Erscheinungen, welche wir in gewissen krystallisirten Substanzen, die durch Erhöhung der Temperatur elektrisch werden, wieder finden.

Nicht alle Gläser sind zu diesen Versuchen tauglich, diejenigen, welche zu alkalinisch sind, behalten nur schwer die Polarität; in dem Gummilack z. B. ist sie sehr schwer zu begründen. Im Allgemeinen müssen die schlechten Leiter beim Erwärmen ziemlich gut leiten, damit die Zerlegung des elektrischen Fludiums mit einer gewissen Leichtigkeit bewerkstelligt werde.

Es möchte aus diesen Thatsachen hervorzugehen scheinen, daß, wenn ein Körper sich ausdehnt, er den umgebenden Körpern, Elektricität nehmen muß, während das Umgekehrte stattfindet, wenn er sich zusammenzieht, er würde alsdann im Gegentheil dahin streben, Elektricität frei werden zu lassen.

Einige mineralische Stoffe zeigen Erscheinungen, welche mit den vorhergehenden Aehnlichkeit haben, mit dem Unterschiede jedoch, daß sie willkürlich durch Erhebung oder Erniedrigung der Temperatur hervorgebracht werden, ohne daß man demnach nöthig habe, zu der Wirkung der Vertheilung durch ir=

gend einen elektrisirten Körper seine Zuflucht zu nehmen.

Wir meinen die elektrischen Erscheinungen des Turmalins, des Topas und mehrerer anderer mineralischen krystallinischen Stoffe.

Das Studium dieser Erscheinungen ist um so wichtiger, als man die Körper ansieht, als bestehen sie aus Atomen, die eine elektrische Polarität besitzen, welche als die Ursache der Verwandtschaften betrachtet wird.

Der Apparat (Fig. 24, Taf. 17) ist derjenige, welcher uns der passendste schien, um die elektrischen Erscheinungen des Turmalins und der Substanzen, welche prismatisch sind, zu beobachten; er besteht aus einer Glasglocke cc, welche an beiden Enden offen ist und auf einer kupferneu Platte pp steht, welche man vermittelst einer Weingeistlampe l erwärmt, ein Coconfaden, der in f befestigt ist und eine papierne Hülle trägt, geht in die Glocke herab; zwei vertikale metallene Stäbe tt, welche sich in einer Entfernung befinden, welche etwas größer als die Länge des Turmalins ist, stehen mit einem von den Polen einer trockenen Säule in Verbindung, deren Intensität man die ganze Dauer eines Versuches hindurch als merklich constant ansehen kann. Man legt den Turmalin in die Hülle und zündet die Lampe an, um die Platte und das Innere der Glocke zu erwärmen, deren Temperatur man vermittelst eines passend angebrachten Thermometers kennt. Im Verhältniß als das Innere der Glocke erwärmt wird, erhebt sich die Temperatur des Turmalins, und sobald als er elektrisch wird, stellt er sich zwischen die beiden Stäbe, mit den beiden umgekehrten Polen gegenüber, und wenn man ihn aus dieser Lage bringt, so kehrt er in dieselbe zurück, indem er eine Reihe von Schwingungen macht, deren Zahl in einer gegebenen Zeit dazu dient, die Intensität der Elektricität zu bestimmen.

Wir geben hier die Resultate, welche mit einem braunen, etwas durchscheinenden Turmaline von 3 Centimeter Länge und 3 Millimeter Dicke erhalten wurden, dessen Temperatur man gradweise erhöhte:

Bei 30 Graden fing die elektrische Polarität an, merklich zu werden, und der Krystall legte sich zwischen die beiden Pole; sie dauerte bis zu 150° und selbst darüber fort. Man löschte die Lampe aus, die Temperatur stieg noch einige Augenblicke lang, wegen der Wärme, welche von der metallischen Platte abgegeben wurde; hierauf aber wurde sie stationär, die Polarität verschwand alsdann und erschien in umgekehrter Richtung wieder, sobald die Temperatur zu fallen anfing.

Der Augenblick des Uebergangs von einer Polarität zur andern war sehr kurz; die erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Temperatur des Turmalins.	Dauer der Schwingungen.	Anzahl der Schwingungen.	Intensitäten.
100	30	0	
90	30	10	0,11
80	"	13	0,19
70	"	15	0,25
60	"	15	0,25
50	"	15	0,25
40	"	14	0,21
30	"	13	0,19
20	"	7	0,054

Wir wollen diese Resultate erklären: die Temperatur hatte man auf 115° gebracht; bei 105° fing der Turmalin, obgleich er vorher elektrisch war, an, sich zwischen die beiden vertikalen Stäbe, welche mit den beiden Polen der trockenen Säule in Verbindung stehen, zu stellen; bei 100° waren die Schwingungen meßbar. Von 115° bis 100°, in dem Augenblick,

wo die Abkühlung am rascheſten vor ſich ging, nahm die elektriſche Intenſität ſehr langſam zu, von 100° bis 90° war die Intenſitätszunahme raſch, dann nahm ſie bis zu 70° ab; von 70° bis 40° blieb ſie merklich ſtationär; von 40° bis 20° nahm ſie in demſelben Verhältniſſe ab, als ſie von 100° bis 70° zugenommen hatte. Die elektriſche Polarität verſchwand bei 15° völlig, obgleich ſie ſich nur bei 50° zu zeigen angefangen hatte, als man die Temperatur erhöhte. Mehrere Turmaline haben ähnliche Reſultate geliefert. Man ſieht daher, daß die elektriſche Intenſität eines jeden Pols nicht im geraden Verhältniſſe mit der Abkühlungsgeſchwindigkeit ſteht. Das Geſetz der elektriſchen Intenſitätsveränderungen, welches ſehr complicirt iſt, hängt wahrſcheinlich von dem Leitungsvermögen des Turmalins und der Coercitivkraft der conſtituirenden Theile ab, welche Kraft ſich der unmittelbaren Wiedervereinigung der beiden Elektricitäten widerſetzt. Es gibt kein anderes Mittel zu erklären, warum der Turmalin bei einer langſamen Abkühlung bei 15° noch elektriſch iſt, während er es, wenn man ihn erhitzt, nur bei 50° wird. Wenn es auf der anderen Seite leicht iſt, die elektriſche Intenſität des Turmalins während ſeiner Abkühlung zu meſſen, ſo verhält es ſich nicht ſo, wenn man die Temperatur erhöht, weil ſein elektriſcher Zuſtand ſich mit einer ziemlich großen Raſchheit verändert.

In der vorhergehenden Tabelle haben wir die Anzahl der Schwingungen angegeben, welche in 30 Sekunden hervorgebracht wurden. Um auf die Intenſität der Kraft, welche ſie hervorbrachten, zurück zu gehen, kann man den aufgehängten Turmalin als zwei Pendel betrachten, deren Aufhängungspunkt die Mitte des Steins wäre, und welche auf jeder Seite des Leiters, der mit den Polen der Säule in Verbindung ſteht, ſchwingen würden, alsdann ſtehen die Intenſitäten der elektriſchen Kraft des Turmalins im

umgekehrten Verhältniß mit dem Quadrate der Zeit jeder Schwingung. Indem man von dieser Annahme ausgeht, erhält man für die Verhältnisse der elektrischen Kräfte folgende Zahlen:

von 100 bis 90°	0,11
von 90 bis 80	0,19
von 80 bis 70	0,25
von 70 bis 60	0,25
von 60 bis 50	0,25
von 50 bis 30	0,16
von 30 bis 20	0,054

Man sieht daraus, wie die Intensität der elektrischen Kraft durch die Abkühlung abnimmt.

Von dem Augenblicke an, wo die elektrischen Wirkungen, welche beim Turmaline durch Erhöhung der Temperatur hervorgebracht wurden, die umgekehrten von denjenigen sind, welche die Erniedrigung der Temperatur gibt, so folgt, daß, wenn die beiden Enden sich nicht zu gleicher Zeit abkühlen, oder auch, wenn auf der einen Seite Erhöhung und auf der andern Erniedrigung der Temperatur stattfindet, der elektrische Zustand sich auf sechs verschiedene Arten anordnen könne, nämlich:

am einen Pole		am andern	
(+)	. . . . .	(—)	
(+)	. . . . .	(+)	
(—)	. . . . .	(—)	
(+)	. . . . .	(0)	beim Uebergang
(—)	. . . . .	(0)	
(—)	. . . . .	(+)	

Der erste Zustand findet Statt, wenn die ganze Oberfläche des Steins auf gleiche Weise einer Abkühlung oder einer Erwärmung ausgesetzt ist.

Ebenso verhält es sich bei dem letzten. Was den zweiten und dritten anbetrifft, so erzeugen sie sich, wenn bloß einer von den Polen im Zustande der Abkühlung ist, während der andere sich im Zustande

der Erwärmung befindet. In Beziehung auf den vierten und den fünften zeigen sie sich jedesmal, wenn einer von den Polen im Zustande der Erwärmung oder Abkühlung sich befindet, der andere in einem stationären Zustande ist. Wir wollen sehen was vorgeht, wenn eines von den Enden mehr Wärme erhält, als das andere; man muß deßwegen jedes Ende des Turmalins in eine kleine, an einem Ende verschlossene Glasröhre einschließen, welche so genau als möglich darauf paßt, und sie dann in ihrer Mitte, vermittelst eines Platindrahtes, an eine kleine gläserne Röhre befestigen. Wenn man eines von den Enden erwärmt, z. B. dasjenige, welches durch Erwärmen positiv wird, so fängt das Glas damit an, Wärme anzunehmen, welche es dem Turmaline mittheilt. In diesem Falle zeigt der Turmalin, so lange als die Temperatur am andern Ende sich nicht zu erhöhen anfängt, nur eine einzige Elektricität, wovon man sich überzeugen kann, indem man nach und nach alle Punkte des Turmalins an die Lahnscheibe eines Coulombschen Elektroskopes bringt, welches eine von den beiden Elektricitäten besitzt. Der Turmalin besitzt in diesem Falle demnach nur eine Elektricitätsart, und die andere muß sehr wahrscheinlich auf der Oberfläche der Glasröhre sein, welche mit dem elektrisirten Ende im Contakte steht.

Forbes fand einen Turmalinkrystall, dessen Struktur dem Anscheine nach regulär schien, und welcher die besondere Eigenschaft hatte, daß er beim Abkühlen an jedem Ende einen positiven Elektricitätspol hatte. Mit Hülfe der Coulomb'schen Probeplatte, fand er, daß der mittlere Theil des Krystalls einen Ueberschuß an negativer Elektricität besitze. Alles führt auf den Glauben, daß dieser Krystall ein Kreuzstein sei, d. h., ein Krystall der aus zwei anderen besteht, welche an den symmetrischen Flächen verbunden sind und dieselbe elektrische Polarität besitzen.

Kehren wir jetzt zum positiven Ende zurück, wo man die wachsende Temperatur angenommen hat. Sobald sie stationär geworden ist, hört der elektrische Zustand des Turmalins auf, um in entgegengesetzter Richtung wieder sogleich zu erscheinen, sobald sie zu sinken anfängt.

Zu gleicher Zeit wird die negative Seite, je nachdem ihre Temperatur constant geblieben ist oder Veränderungen erlitten hat, Null, negativ oder positiv.

Diese Thatsachen beweisen hinlänglich, daß, wenn man die beiden Seiten eines Turmalins ungleich erhitzt, eine jede einen von der andern unabhängigen elektrischen Zustand annimmt.

Man hat den Fall untersucht, wo die Temperatur am positiven Ende wachsend und am entgegengesetzten Ende stationär war. Um diese letztere Bedingung beständig zu erhalten, ist es hinreichend, dieses Ende in eine kleine mit Eis angefüllte Röhre zu bringen; man erhält alsdann die vorher angegebenen Erscheinungen.

Forbes, welcher einige Versuche anstellte, um die Intensität der elektrischen Erscheinungen des Turmalins zu messen, bediente sich des Coulomb'schen Elektroskopes, dessen Glocke mit einer an ihrer Wand angebrachten Röhre versehen war, und in welche man den Stein brachte, um ihn auf die vorläufig elektrisirte Scheibe reagiren zu lassen.

Diese Versuchsart enthält mehrere Ursachen zu Fehlern, unter anderen den Elektricitäts-Verlust, welchen die Lahnscheibe unaufhörlich erleidet. Forbes hat jedoch diese Erscheinungen zu vermindern gesucht, indem er kurze Zeit nachher, als die Scheibe ihre Ladung erhalten hatte, experimentirte. Er hat außerdem jede seiner Reihen in einer umgekehrten Ordnung wiederholt, um zwei Beobachtungen zu erhalten, welche gleichweit vom mittleren Zustande der elek-

trischen Spannung des Turmalins entfernt waren. Das Mittel ist der gesuchte Werth. Die Abweichungen der Scheibe können nur in so weit dazu dienen, verschiedene Ladungen des Turmalins zu vergleichen, als man sie auf eine constante Abweichung bezieht, indem man den Torsionsfaden passend dreht. Wir ziehen demnach das vorher beschriebene Mittel vor.

Die elektrische Intensität der Turmaline verändert sich dermaßen in den Krystallen, welche von derselben Lokalität herkommen, daß man genöthigt ist, diese Variationen Verschiedenheiten in ihrer Dimension, Struktur und besonders ihrer Farbe zuzuschreiben; aber um den Einfluß dieser verschiedenen Ursachen gehörig zu würdigen, ist es nöthig, eine Experimentirungsweise kennen zu lernen, welche unmittelbar zu erkennen gestattet, ob ein Turmalin stark elektrisch ist oder nicht, und welche darin besteht, die Erwärmungs- und Abkühlungsweise zu verändern, welche langsam oder schnell sein kann; wir wollen mit der ersten anfangen.

Diese wird erhalten, wie wir bereits gesagt haben, durch stufenweises Erhöhen der Temperatur der Glocke, in welcher der Stein aufgehängt ist, indem man die Lampe auslöscht und die Abkühlung vor sich gehen läßt. Die zweite Art besteht darin, den Turmalin, welcher eine niedere Temperatur hat, an ein Mittel zu bringen, wo sie sehr hoch ist, und das zu beobachten, was während dieser raschen Erwärmung vorgeht. Man zieht ihn hernach heraus, um ihn an einen kalten Ort zu bringen. Die Turmaline, welche das elektrische Vermögen im höchsten Grade besitzen, erhalten es durch diese beiden Arten, während diejenigen, welche weniger elektrisch sind, es nur auf die zweite Art allein werden, es gibt welche, die es durch keine von beiden Arten werden.

Alle die Thatsachen, welche bis jetzt dargelegt worden sind, beweisen, daß die elektrischen Erscheinungen des Turmalins das Resultat der Ausdehnung

und der Zusammenziehung sind, und daß, wenn die Temperatur stationär ist, keine elektrische Erscheinung stattfindet. Wenn wir auf die Erscheinungen der Spaltung zurückgehen, so finden wir Analogie in den Resultaten. In dem wirklichen Falle dehnt die Wärme in dem Verhältnisse, als sie mitgetheilt wird, die Theile aus, bringt eine Art Spaltung hervor und muß auf den beiden gegenüberliegenden Flächen die beiden Elektricitäten frei machen. Wir werden weiter unten sehen, wie diese Entwicklung die beobachteten Erscheinungen hervorbringen kann.

Es ist jetzt durch die vorhergehenden Versuche bewiesen, daß die elektrische Polarität der Atome unter dem Einflusse der Wärme, welches die angenommene Ursache der Verwandtschaften ist, nicht bestehen könnte, weil diese Polarität stattzufinden aufhört, wenn die Temperatur stationär ist. Die Verwandtschaften würden in jenem Falle nicht wirken, was nicht zugegeben werden kann. Wir wollen in der Beschreibung der elektrischen Wirkungen fortfahren, welche in den Turmalinen von verschiedenen Dimensionen, von verschiedenen Farben, oder ohne Farben stattfinden.

Ein an den Rändern sehr wenig durchsichtiger Turmalin von 8 Centimetern Länge und 2 Millimeter im Durchmesser, wurde durch keine von den angegebenen Erregungsarten elektrisch. Ein Turmalin von $6\frac{1}{2}$ Centimeter Länge und einer beinahe dem vorhergehenden gleiche Dicke wurde nur durch die zweite Art elektrisch, indem er rasch von 12° bis zu 60° überging. Durch ein langsames Abkühlen zeigte er die elektrische Polarität nur bei 60°, obgleich man die Temperatur auf 100 Grade gebracht hatte.

Eine große Anzahl von Turmalinen von verschiedener Länge haben uns um so stärkere Resultate geliefert, je kleiner sie waren. Ebenso fanden wir, daß Turmalinfragmente beständig deutlichere Erscheinungen geben als der ganze Stein. So wurde ein

Stein von 50 Millimeter im Durchmesser, nur durch eine rasche Erhitzung von 12° bis 50° elektrisch; nachdem er entzwei gebrocheu wurde, wurde jedes Stück durch eine langsame Erhitzung elektrisch. Indem man endlich einen nicht elektrischen Turmalin in zwei Stücke theilte, so gaben die beiden Fragmenten Spuren von Elektricität. Diese Thatsachen suchen demnach zu beweisen, daß die elektrischen Phänomene des Turmalins im Verhältniß der Länge und der Dicke sich verändern. Wenn dieses Gesetz auf immer kleinere Turmaline angewandt wird, so folgt daraus, daß die integrirende Moleküle eine sehr intensive elektrische Polarität von schwachen Temperaturveränderungen erhalten würden.

Forbes hat Resultate erhalten, welche von den vorhergehenden verschieden sind. Er hat dem Versuche einen Turmalin von ungefähr 3½ Zoll Länge und ¼ Zoll im Durchmesser, folglich ein wenig länger als derjenige, dessen ich mich bedient habe, unterworfen. Er fand ihn durch Erhöhung und Erniedrigung der Temperatur nicht widerspenstig. In einer Reihe von Versuchen, welche er mit sechs Turmalinen 1,3 Zoll lang, und deren Dicke oder Querschnitte sich wie die Zahlen 14, 11, 7, 6 und 4 verhielten, angestellt hatte, fand er kein direktes Verhältniß mit den Querschnitten, denn die Intensitäten wurden durch die Zahlen 1, 2, 5, 4, 3 dargestellt. Andere Reihen, die mit einer Reihe von Krystallen von 1,2 und 1,8 Zoll Länge angestellt wurden, gaben ebenfalls irreguläre Angaben. Demungeachtet gesteht Forbes zu, daß die Dimensionen des Schnittes gewöhnlich einen solchen Einfluß haben, daß da, wo die Differenzen beträchtlich sind, der dickste Krystall beinahe immer das größte Vermögen hat.

Ein Krystall von 1¼ Zoll Länge hatte sein Intensitätsmaximum bei 45° Abweichung, nachdem man hierauf ein Viertel seiner Länge abbrach, wurden die beiden Theile erhitzt und von Neuem dem Versuche

unterworfen; das Mittel des größten Theils gab eine Abweichung von 47° und das der kleinsten eine Abweichung von 43°. Forbes meint, daß die Verminderung der Länge der Elektricitätsentwicklung nicht günstig zu sein scheine: eine Folgerung, welche noch im Widerspruch mit derjenigen steht, die wir aus unsern Versuchen gezogen haben. Um sich von dem Einflusse der Länge recht zu überzeugen, vereinigte er mehrere Turmaline von $^1/_{10}$ Zoll Durchmesser, deren Schnitt so gleich als möglich war. Er fand folgende Resultate:

Nummer	Länge	Intensität
1	3,25	79°
2	2,10	82
3	1,60	60
4	1,55	60
5	1,35	89
6	1,19	68

Diese Zahlen zeigen uns wohl, daß der längste Krystall einen hohen Rang unter denen vom gleichen Schnitte einnimmt, und daß kein Verhältniß zwischen der Länge und der Intensität Statt zu finden scheint; diese Tabelle kann jedoch nicht dazu dienen, das Gesetz der Längen zu geben, weil man weiß, daß die elektrischen Eigenschaften von einem Steine zum anderen wechseln. Forbes hat, um die Aenderungen zu studiren, welche die elektrischen Eigenschaften des Turmalins durch Veränderung der Länge erleiden, eine Säule gebildet, indem er Turmalinplatten übereinander legte. Wir begreifen nicht, wie diese Anordnung genügende Angaben geben konnte; denn die elektrischen Eigenschaften des Turmalins sind dermaßen in Beziehung auf die Gestalt, Farbe und andere Ursachen, welche wir weiter unten angeben werden, veränderlich, daß sie noch weit größere Anomalien zeigen müssen. Wenn man Turmalinplatten auf einander legt, welche Zwischenräume zwischen sich lassen, die sich natürli-

cherweise der Entwicklung und der Verbreitung der Elektricität widersetzen.

Wir müssen eine wichtige Eigenschaft des Turmalins anführen, die man von dem Augenblick erkannte, als man anfing, seine elektrischen Erscheinungen zu studiren. Wenn dieser Stein durch Erwärmen oder Abkühlen elektrisirt wird, und man ihn in einem beliebigen Punkte zerbricht, so zeigt jeder getrennte Theil einen entgegengesetzten elektrischen Zustand, so daß also jede Hälfte noch die elektrische Polarität besitzt. Diese Erscheinung kann nur in so weit stattfinden, als die beiden Elektricitäten, welche in jeder Hälfte frei werden, in dem ganzen Krystalle in der Schnittsfläche selbst verborgen lagen. Wir werden weiter unten den Nutzen sehen, welchen man aus dieser Thatsache ziehen kann, um die elektrischen Erscheinungen des Turmalins zu erklären. Dieser letztere ist nicht die einzige unter den mineralischen, krystallisirten Substanzen, welche elektrische Eigenschaft bei Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur besitzt. Hauy fand, daß diese Eigenschaft noch in Substanzen stattfinde, deren Krystalle dem Gesetze der Symmetrie zuwider laufen, d. h. deren entgegengesetzte, entsprechende Theile der Zahl, der Anordnung und der Gestalt ihrer Fläche nach nicht ähnlich sind, und daß die Spitze, welche am meisten geladen ist, diejenige ist, welche durch Abkühlung positive Elektricität zeigt. Die Substanzen, in welchen man das elektrische Vermögen fand, sind: der Topas, Borazit, Mesotyp, kieselsaures Zink, der Sphenit, der Axenit und der Phrenit. Etwas Ausführliches über ihre Form und ihre Spaltung wird nicht unnützlich sein, weil ihre elektrischen Eigenschaften einigermaßen von dem einen oder andern herrühren. Der Turmalin kommt unter verschiedenen Gestalten vor, dessen Grundtypus ein Rhomboeder ist. Die isogone Varietät von Hauy ist eine Säule mit neun Flächen, die auf einer Seite von einer Spitze

mit sechs Flächen, wovon drei zur primitiven Form gehören, und auf der entgegengesetzten durch eine Spitze mit drei Flächen begränzt sind, die mit denen der primitiven Form Aehnlichkeit haben. In dieser wie in den andern Varietäten bestätigt sich das Gesetz der Symmetrie nicht, wofern man nicht die Erklärung von Lafosse annehmen will. Der Turmalin hat einen Querbruch; der nach allen Richtungen hin muschelförmig ist. In gewissen Krystallen bemerkt man natürliche Fugen, welche Spuren von übereinandergelegten Lamellen sind. Dieser Zustand der Dinge kann uns in nichts über die Art und Weise aufklären, wie die Elektricität vermittelst der Wärme entwickelt wurde. In dem Topase verhält es sich nicht so, der sich in Prismen zeigt, die rhombisch, einfach oder durch andere Prismen modifizirt und durch eine Ebene spaltbar sind, welche senkrecht auf der Achse steht, an deren Ende sich die elektrischen Pole befinden.

Um diese elektrischen Eigenschaften zu beobachten, verfährt man, wie mit dem Turmalin, weil die Säulen oft verlängert sind; nur muß man die Temperatur bis zu 50 oder 60° erhöhen, um die elektrischen Eigenschaften durch Abkühlung zu beobachten. Wir wissen nun, daß, wenn man einen Topas senkrecht zur Achse spaltet, die beiden getrennten Flächen sich in zwei verschiedenen elektrischen Zuständen befinden, es folgt daraus, daß die Wärme durch Ausdehnung der Theile gleichfalls eine Spaltung hervorbringen müsse. Augenblicklich sehen wir den Vortheil, welchen man aus dieser Vergleichung ziehen kann, um die Vertheilung der Elektricität in den Krystallen, wovon hier die Rede ist, zu begreifen.

Der Borazit oder die borsaure Magnesia erfordert besondere Vorkehrungen, um seinen elektrischen Zustand zu erkennen. Diese Substanz zeigt sich uns in Würfelgestalt, welche meistentheils an den Kanten oder körperlichen Ecken so modifizirt ist, daß diese letzteren

völlig dem Gesetze der Symmetrie zuwider zu sein scheinen. Diese Substanz ist nicht spaltbar, aber die natürlichen Fugen können bei einem lebhaften Lichte wahrgenommen werden. Sie wird von der Wärme in acht paarweise gegenüberliegenden Punkten elektrisch; die entgegengesetzten Pole befinden sich an den Enden einer großen Diagonale. Die große Zahl von Polen, welche auf einem kleinen Krystall, der gewöhnlich nur einige Millimeter zur Seite hat, vertheilt sind, macht ihre Bestimmung sehr schwierig, wenn man sich nicht vor den entgegengesetzten Wirkungen hütet, welche von den benachbarten Polen hervorgebracht werden. Wir geben hier das Verfahren an, das am besten gelingt. Man nimmt ein Elektroskop, das auf folgende Weise eingerichtet ist: auf vier vertikale gläserne Säulen legt man eine gläserne Scheibe, in deren Mittelpunkt ein Coconfaden befestigt ist, unten befindet sich ein kleiner Hebel mit seiner Lahnscheibe, wie bei dem Coulomb'schen Elektroskope. Diese Anordnung gestattet es, an die Scheibe nach und nach alle Krystallflächen zu bringen. Man befestigt den Krystall an einem Ringe, der aus einem Platindrahte besteht, welchen man selbst wieder an einer gläsernen Röhre von einem sehr kleinen Durchmesser befestigt, indem man dafür sorgt, daß der Ring die Winkel nicht berührt. Nachdem der Stein erhitzt wurde, stößt man auf keine Schwierigkeit, nach und nach seine Spitzen an die Lahnscheibe zu bringen, ohne zu besorgen, daß leitende Körper eine anziehende Wirkung auf die Scheibe ausüben. Die elektrischen Erscheinungen der Wärme im Borazit sind bei weitem schwächer als in dem Turmalin. Um sie zu beobachten, muß man sehr sorgfältig sein, besonders bei den repulsiven Wirkungen, welche nur in einem sehr kleinen Raume stattfinden.

Der Axinit, welcher zur primitiven Form eine gerade irreguläre Säule mit schiefwinklicher Basis

hat, besitzt gleichfalls Pyro-Elektricität, wenigstens einige Krystalle. Hauy fand, daß nur diejenigen durch die Wärme elektrisch werden, welche dem Gesetze der Symmetrie zuwider sind.

Der Mesotyp hat eine gerade rhombische Säule zur primitiven Form, welche sich in der Diagonale theilen läßt. Nach Hauy gibt es nur einen Theil an den Krystallen von diesem Stoffe, welcher die pyroelektrische Eigenschaft besitzt, er konnte demungeachtet auf keine genaue Weise die Verschiedenheiten der Gestaltung zwischen den Theilen, in welchen die beiden elektrischen Pole sich befinden, bestimmen.

Der Phrenit hat eine gerade rhombische Säule zur primitiven Form, die nach der Richtung der kleinen Diagonalen der Grundflächen theilbar ist. Hauy nimmt auch seinen elektrischen Zustand an. Es verhält sich jedoch bei dieser Substanz, wie bei der vorhergehenden; da er den Mangel an Symmetrie nicht beweisen konnte, so vermuthete er ihn bloß.

Kieselsaures Zink. Diese Substanz, deren primitive Form ein rektanguläres Oktaeder ist, kommt in sechsseitigen Säulen, mit diedrischen Gipfeln vor, welche Pyro-Elektricität in ziemlichem Grade besitzen. Hauy vermuthete gleichfalls einen Mangel an Symmetrie in den Krystallen; er gab außerdem an, daß dieses Mineral nicht nöthig habe erhitzt zu werden, um elektrische Spuren zu geben, weil diese Spuren sich noch bei einer Kälte von 6 Grad R. unter Null zeigten. Nachdem er ein kleines Krystallfragment in ein Mittel gebracht hatte, dessen Temperatur 11° unter Null war, und es einige Augenblicke darin gelassen hatte, so fand er, daß es elektrisch war; es befand sich alsdann im Zustande der Abkühlung. Nachdem er es in ein Mittel brachte, wo der Thermometer 5° über Null zeigte, so fand er, daß die polare Wirkung sich verminderte und Null geworden war; in diesem Falle hatte der Krystall nach und

nach die Temperatur des umgebenden Mittels wieder angenommen. Nachdem er den Krystall dem Feuer näherte, erschien die Polarität in umgekehrter Richtung wieder. Diese Erscheinungen waren ganz natürlich, weil Erwärmung eintrat.

Sphenit. Die primitive Form dieser Substanz ist ein rhombisches Oktaeder; es scheint nach Hauy, daß nur ein Theil der Krystalle elektrisch sein. Um diese Fähigkeit zu entwickeln, muß man sie sehr wenig erhitzen. Hauy fand in den Krystallen, welche sie besitzen, einen Mangel an Symmetrie.

Forbes, welcher die Pyroelektricität des Topas, des Borazits, des Mesotyp studirte, fand in Uebereinstimmung mit dem Gesetze, welches wir beobachtet haben, daß die Intensität der Elektricität ihr Maximum erreicht, wenn die Geschwindigkeit der Abkühlung, vergleichungsweise schwächer geworden ist. Er hat ebenfalls beobachtet, daß der Topas die Eigenschaft besitzt, seine Elektricität lange nachher, nachdem die Temperatur aufhörte, Veränderungen zu erleiden, zu behalten. Diese Erscheinung hängt allein von der Leitungsfähigkeit des Steins ab, denn man sieht ein, daß es sehr wohl geschehen könne, daß, da der Stein weniger leitend wird im Verhältnisse als sich die Wärme vermindert, die Vereinigung der beiden Elektricitäten mehr Zeit braucht, bewerkstelligt zu werden. Der englische Physiker hat aus seinen Versuchen geschlossen, daß in allen Mineralien die Schwierigkeit der Zerlegung und der Wiedervereinigung mit der Masse zunimmt; daher rührt es, daß kleinere Krystalle leichter erregt werden, und daß die Erscheinungen permanenter sind. Auf diese Weise zeigte ein langer Borazitkrystall von $\frac{1}{3}$ Zoll Seite analoge Resultate, wenn man einen von seinen vier negativen Polen an das Elektroskop bringt, indem sich die Scheibe langsam und auf eine reguläre Weise in dem Verhältnisse entfernt, als die Abkühlung vor

sich ging, und nach Verlauf von zehn Minuten erreichte er sein Maximum an Spannung; die Verminderung der Elektricität ging sodann sehr langsam vor sich, in $^3/_4$ Stunden näherte die Scheibe sich nur sehr wenig ihrer ersten Lage. Ein kleiner Borazitkrystall, der auf dieselbe Weise behandelt wurde, erreichte rasch das Maximum, und die Nadel kehrte in einem von den Versuchen auf Null nach Verlauf von 20 Minuten zurück, in einem andern in einer halben Stunde. Die nadelförmigen Krystalle von Mesotyp erlangten mit Leichtigkeit einen hohen Grad von elektrischer Erregung, so daß man sehr aufmerksam sein mußte, um zu entdecken ob das Intensitätsmaximum nicht unmittelbar stattfinde.

Wir wollen jetzt auf die Ursachen zurückzugehen suchen, wovon die elektrischen Eigenschaften des Turmalins und anderer Substanzen abhängen, indem wir uns auf die vorher beschriebenen Hauptthatsachen stützen. In einem Turmalinprisma, welches elektrisch wurde, nimmt die Spannung der freien Elektricität in jedem Ende bis zur Mitte, welches der Zustand 0 ist, ab. Der Versuch lehrt uns auf der anderen Seite, daß die Spaltung der Krystalle jeden getrennten Theil in einen verschiedenen elektrischen Zustand bringt, was daraus zu schließen erlaubt, daß es sich noch ebenso verhalten würde, wenn man zwei Moleküle von einander trennte; daß die Wärme derartige Erscheinungen veranlassen müsse. Wir besitzen nun einen Apparat, welcher uns zwar auf eine unvollkommene Weise die Wirkungen der elektrischen Steine zeigt: dies ist die elektrische Säule die aus einer gewissen Anzahl von Glasplatten besteht, wovon jede auf den beiden Flächen mit einer Zinnfolie bewaffnet ist, und welche parallel neben einander angeordnet sind, so daß die Fläche b der ersten vermittelst eines Metalldrahtes mit der gegenüberliegenden Fläche a′ der zweiten; die Fläche b′ von dieser mit

der Fläche a'' der dritten, und so fort, bis zur letzten, in Verbindung steht, deren Fläche b'' mit dem Boden communicirt. Wenn dieser Apparat isolirt wird und man die Fläche a mit dem Conduktor einer starken Maschine in Verbindung bringt, und nachdem man sie elektrisirt hat, die Verbindungen zwischen dem Conduktor und dem Boden aufhebt, so besitzen, nach Verfluß einer gewissen Zeit, die beiden äußersten Flächen a und b'' dieser Säule einen Ueberschuß von entgegengesetzter Elektricität, und jede Hälfte der Säule hat gleichfalls eine entgegengesetzte Elektricität, deren Intensität bis zur mittleren Platte abnimmt, welche im neutralen Zustand ist. Biot analysirte die Erscheinungen folgendermaßen:

Die Fläche a besitzt eine elektrische Ladung, die theilweise frei, theilweise durch die Elektricität von entgegengesetzter Natur, welche auf der Fläche b fixirt ist, verhüllt wird; es verhält sich ebenso mit der Fläche a' in Beziehung auf die Fläche b', und so fort bis zur letzten. Der Ueberschuß von freier Elektricität nimmt rasch von einem Elemente bis zum andern ab.

Wenn der Apparat isolirt würde, so gäbe es keine Veränderung in seinem elektrischen Zustande; da er sich aber in einem Mittel befindet, welches jeder Oberfläche eine Elektricitätsmenge wegnimmt, die dem Ueberschusse proportional ist, welcher auf jeder Fläche frei ist, so folgt daraus, daß dieser Verlust für a größer sein wird, als für a' u. s. w., bis zur Fläche b'', welche keine freie Elektricität hat.

Es folgt aus dieser Lage der Dinge, daß a, welches einen Theil seiner freien Elektricität verloren hat, nicht mehr die Menge, welche sich zuvor auf b befand, neutralisiren kann. Ebenso verhält es sich in Beziehung auf b', und ebenso auf die Flächen a'' a''' bis zur letzten b'', auf welcher alsdann ihre Elektricität nicht mehr vollständig neutralisirt sein wird,

so daß ein Theil frei wird. Dieser zuerst sehr kleine Theil nimmt nach und nach zu, und verliert ebenfalls durch die absorbirende Wirkung der Luft, aber weniger als die freien Theile der anderen Platten, weil er zuerst sehr schwach ist; da aber der Verlust der freien Elektricität immer mehr auf der ersten Fläche ab- und auf der letzten Fläche zunimmt, und da die dazwischen liegenden Platten ähnliche Erscheinungen erleiden, so folgt daraus, daß die Elektricitäten der äußersten Flächen zur Gleichheit gelangen und folglich zwei gleiche Elektricitäten mit entgegengesetzten Zeichen besitzen, die stufenweise bis zum Mittelpunkte abnehmen, wo keine freie Elektricität stattfindet. Indem man die Säule in eine beliebige Lage bringt, trennt man die beiden Elektricitäten, welche gebunden waren, so daß man auf jeder abgesonderten Fläche eine gewisse Menge freier Elektricität erhält, welche von entgegengesetzter Natur mit der des entsprechenden Endes ist.

Der Turmalin, der Topas zeigen uns ganz ähnliche Erscheinungen; man muß nun untersuchen, ob die vorher angegebene Ursache nicht bei der Erzeugung dieser Erscheinungen betheiligt ist. Der Topas hat z. B. nur eine Richtung der Spaltung, die senkrecht zur Krystallisationsachse ist; wenn man eine Platte wegnimmt, so nimmt er einen Ueberschuß von Elektricität an, welche die entgegengesetzte von dem ist, den die gegenüber liegende Fläche erhält, und dies tritt ein, mag auch die Stelle der Spaltung sein, wo sie will; es ist demnach eine ähnliche Anordnung, wie die der elektrischen Säule. Dies vorausgeschickt, so entfernt man, wenn man die Temperatur des Krystalls erhöht, die Platten, deren Dicke die eines Moleküls ist; man muß alsdann eine ähnliche Elektricitätsentwicklung bekommen, wie die, welche man durch Spaltung erhält, so daß, wenn die Substanz schlecht leitet, sich eine ähnliche Säule, wie die, welche wir

so eben beschrieben haben, bilden kann, indem man annimmt, daß jedes Molekül, durch die Wirkung der Abkühlung oder Temperaturerniedrigung, zwei entgegengesetzte elektrische Pole besitzt, daß der dazwischen befindliche Raum den Metallstab ersetze, und daß das Krystallsystem so beschaffen ist, daß eine von den Flächen jeder Platte die gleichnamigen Pole und die gegenüberliegende Fläche die Pole der entgegengesetzten Elektricität enthalte.

Was ferner den Topas und die elektrischen Krystalle den elektrischen Säulen ähnlich zu machen scheint, sind die Erscheinungen, welche hervorgebracht wurden, wenn man die Säule oder einen Topas zerbricht. Jeder getrennte Theil zeigt noch eine entgegengesetzte Elektricität, wie wenn diese beiden Elektricitäten vor dem Bruch gebunden gewesen wären.

Dasselbe Raisonnement wendet man auf alle andern Krystalle an, in welchen die Spaltung nicht gleichfalls rein, wie in diesem ist, denn obwohl dieser Bruch nicht immer existirt, so sieht man doch, nach den Ansichten, welche wir über die Krystallisation besitzen, ein, daß die Natur eine ähnliche Uebereinanderlegungsweise angewandt habe; bloß unsere mechanischen Mitteln sind unzureichend, um die Trennung dieser Platten zu bewerkstelligen.

Dies ist alles, was wir für den Augenblick über die Ursache der Elektricitätsentwicklung durch Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur in gewissen mineralischen krystallisirten Substanzen sagen können. Ehe wir diesen Gegenstand verlassen, dürfen wir nicht vergessen, von den Versuchen zu sprechen, welche Brewster in der Absicht anstellte, die Zahl der durch die Wärme elektrisirten Substanzen zu vergrößern; eine Zahl, welche nach ihm beträchtlich ist. Er stellt unter die pyroelektrischen Substanzen den Kalkspath, den schwefelsauren Baryt, das kohlensaure Blei, den Flußspath, mehrere Sulfate, den Diamant,

den Amethyst, den Schwefel, den Zucker ꝛc. Man darf nur das Verfahren Brewster's anzeigen, um zu beweisen, daß er über die Ursache der Erscheinung zu einem Irrthum verleitet worden war. Dieser Physiker hatte eine außerordentlich dünne, sehr trockene Pflanzenmembrane von Arundo phragmites genommen, von welcher er mehrere Streifen abschnitt; er beobachtete, daß sie sich zu zweien und zu dreien an den Krystall anhängen, dessen Temperatur er erhöhte. Aus diesem Anhängen schloß er, daß die Krystalle elektrisirt wären. Dieser Beweis ist unzureichend, denn wenn man wissen will, ob ein Körper elektrisch sei, so muß man sich zweier Sachen vergewissern: 1) ob er die leichten Körper, welche man ihm hinhält, anzieht; 2) ob diese Körper unmittelbar nach dem Contakt wieder abgestoßen werden. So oft nur Attraktion stattfindet, kann man daraus nicht schließen, daß die Körper elektrisirt sind, denn man weiß, daß ein Körper, welcher erhitzt wurde, mehrere Wirkungsarten auf die leichten Körper, welche sich in der gewöhnlichen Temperatur befinden, ausübt. Demnach können wir ohne neue Beweise die Pyro-Elektricität der von diesem Physiker angegebenen Stoffe nicht annehmen.

Von den Erscheinungen der Wärme, welche bei den Körpern durch den Durchgang der Elektricität erzeugt werden.

Wenn ein Wasserstrahl, welcher eine gewisse Geschwindigkeit hat, in seinem Laufe eine Masse Sand antrifft, in welchem er sich verbreiten kann, so fließt das Wasser in die Zwischenräume, ohne die Lage der Sandkörner zu stören; wenn jedoch die Größe der Bewegung des Wasserstrahls sehr beträchtlich ist, so wird die Masse in verschiedenen Punkten zerrissen; ebenso auch, wenn die Elektricität in eine Metall-

masse dringt, so vertheilt sie sich in alle intermolekulare Räume, wie es das Wasser in dem Sande thut; denn für sie sind die Körper mit einer unendlichen Anzahl von Zellchen versehen; wenn sie sich ohne Schwierigkeit verbreiten kann, so verlieren die Moleküle ihre natürliche Lage nicht; in dem entgegengesetzten Falle verhält es sich nicht so; die Moleküle erleiden einen Widerstand, welcher dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist, und es entstehen daraus Wärmeerscheinungen, die um so größer sein müssen, je beträchtlicher die Geschwindigkeit ist.

Wir wissen auf der andern Seite, daß, wenn sich die Wärme in einer geschlossenen metallischen Kette fortpflanzt, an dem Punkte, wo sie einen Widerstand findet, alsbald die beiden elektrischen Principe erscheinen; die positive Elektricität überspringt den Widerstand, woraus ein elektrischer Strom entsteht, welcher vom warmen Theile zum kalten geht. Wir sehen daraus, daß das Reciproke gleichfalls stattfindet, weil das elektrische Fluidum, wenn es in einem Körper cirkulirt, sich da in Wärme verwandelt, wo es auf einen Widerstand stößt, welcher sich seiner freien Cirkulation widersetzt. Wir kennen bei dieser Regel nur eine einzige Ausnahme, deren Entdeckung man Peltier verdankt, von welcher wir nachher reden wollen.

Die Wärmeerscheinungen, welche von der Elektricität erzeugt werden, sind so veränderlich, daß wir in ihre Darstellung eine Ordnung bringen müssen, wenn wir sie so zusammenstellen wollen, um sie auf einige allgemeine Principe zu bringen.

Die Elektricität zeigt sich uns gewöhnlich unter zwei Zuständen: im Zustand der freien Elektricität oder im Zustande des Stromes. Wir müssen folglich die Wärmeerscheinungen in den beiden Zuständen studiren.

Der Uebergang des elektrischen Funkens in die

Luft ist mit Wärmeerscheinungen begleitet, welche vermittelst des Thermometers von Kinnersley wahrnehmbar gemacht wurden; auf diese Weise kann die Elektricität nicht durch ein schlecht leitendes Mittel gehen, ohne Wärme zu erzeugen. Diese Erscheinung begleitet ein Geruch, welcher mit dem des Schwefels und des Phosphors Aehnlichkeit hat. Ist dieser Geruch das Resultat des auf die Geruchsorgane ausgeübten Eindruckes von dem elektrischen Principe selbst, oder rührt er wohl von einem riechenden Principe her, welches durch den Uebergang der Elektricität, wie Schönbein vermuthet, in Freiheit gesetzt wird? Dies wissen wir noch nicht. Nach diesem Physiker ist der Geruch des Stoffs, wenn er concentrirt ist, stechend, und er hat den des Phosphors, wenn die Substanz mit viel Luft vermischt ist. Er reiht ihn neben Chlor und Brom. Es ist nöthig, daß neue Versuche diese Resultate bestätigen.

Seit Franklin hat man sich viel mit Wärmeerscheinungen beschäftigt, welche von elektrischen Entladungen hervorgebracht wurden; diese Erscheinungen sind oft beträchtlich und verdienen, die Aufmerksamkeit der Physiker zu fesseln. Man weiß, daß, wenn man die elektrische Entladung einer Batterie in einen feinen Metalldraht gehen läßt, der Draht sich auf eine gewisse Länge oft bis zum Weißglühen, zum Schmelzen oder zur Verflüchtigung erhitzt. Wenn die Ladung der Batterie nicht hinreichend ist, um die Drähte zu schmelzen, so entstehen auf ihren Oberflächen Farbenerscheinungen, welche den Veränderungen zugeschrieben werden müssen, die von ihrer Natur und Temperatur abhängen; bei dem Stahle wird die Farbe nach und nach blau, gelb, lebhaft roth, dann schmilzt er, wenn die Ladung stärker wird; wenn diese noch stärker wird, so verschwindet das Metall mit einer glänzenden Flamme, und es schlägt sich auf einem Blatte Papier, welches darüber ge-

halten wird, ein feiner Staub von rothem Oxyd nieder.

Das Platin, das Gold und das Silber werden ebenfalls geschmolzen und verflüchtigt, indem man eine passende Ladung anwendet; die beiden ersten und vielleicht das dritte werden nicht oxydirt; denn die Wärme, welche sie durch den nämlichen Akt der Schmelzung erleiden, ist hinreichend, um ihre Oxyde zu reduziren. Man weiß außerdem, daß die violette Farbe des Staubes, den das in diesem Falle verflüchtigte Gold lieferte, diejenige ist, welche dieses Metall annimmt, wenn es sich in einem großen Zustande der Vertheilung befindet. Eine große Zahl von Versuchen wurde angestellt, um die Schmelzung der Metalldrähte in der Luft und in verschiedenen Gasen vermittelst elektrischer Entladungen zu bewerkstelligen. Der Apparat, welcher zu diesem Behufe angewandt wurde, bestand aus einer gläsernen Röhre von 55 bis 80 Millimeter Durchmesser und 215 Millimeter Breite. Sie ist an ihren beiden Enden durch zwei Dillen geschlossen, an einer derselben ist ein Hahnen, welcher dazu dient, eine gegebene Menge Luft oder von jedem andern Gase einlassen zu können, über diesem Hahnen und im Innern der Röhre befindet sich eine Rolle, auf welcher ein Metalldraht und ein Bindfaden aufgerollt werden, welche parallel laufen und von Decimeter zu Decimeter ananeinder geknüpft sind. Ein drei Zoll langer kupferner Cylinder ist im Mittelpunkte der oberen Dille angeschraubt; mit Hülfe einer langen Nadel läßt man das Ende des Bindfadens und des Metalldrahtes durch den Cylinder gehen, dann schließt man ihn mit einem Pfropfe so, daß der Draht und Bindfaden in der Röhre bewegt werden können. Wenn der Draht verbrannt ist, so bringt man vermittelst des Bindfadens einen andern in die Röhre.

Um die absorbirte Luftmenge zu bestimmen, bringt

man an die untere Mündung des Hahnen eine enge gläserne Röhre an, welche beinahe 0m,27 Höhe hat und an ihren beiden Enden offen ist, das eine davon wird in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht. Wenn der Hahnen offen ist, zeigt die Höhe des Metalls die absorbirte Gasmenge an. Da die Temperatur im Innern des Apparates stark zunimmt, so darf man die Absorption nur bestimmen, wenn die Temperatur gleich der umgebenden Luft ist.

Wenn man in der Luft operirt, absorbiren die oxydirbaren Metalle Sauerstoff. Die Metalle, welche die Elektricität am wenigsten leiten, wie z. B. das Eisen, das Platin, bringen die größten Wärmeerscheinungen hervor, während das Gold und das Silber, die gute Leiter sind, weniger deutliche Erscheinungen geben.

Wir geben hier die Tabelle der verschiedenen Resultate, welche von Cuthberson in der Luft mit Drähten von verschiedenen Metallen erhalten wurden, die 0m,27 Länge hatte, indem er eine Batterie anwandte, deren innere Belegung beinahe 1,79 Quadrat-Meter betrugen.

Bezeichnung der Metalle.	Durchmesser der Drähte.	Ladung in Graden des Elektrometers.	Farbe des gesammelten metallischen Staubes.
Draht von Blei . . .	1/90	20	Nicht sehr dunkles Grau.
„ von Zinn . . .	1/90	30	Beinahe weiß.
„ von Zink . . .	1/90	45	ditto.
„ von Eisen . . .	1/150	35	Braunroth.
„ von Kupfer . .	1/150	35	Braun, ins Gelbliche spielend.
„ von Platin . .	1/150	35	Schwarz.
„ von Silber . .	1/150	48	ditto.
„ von Gold . .	1/150	40	Bräunlich purpurn.

Mit der großen Maschine des Teyler'schen Mu-

seums zu Harlem gelang es van Marum, einen Eisendraht von 16 Meter Länge zu schmelzen. Diese Maschine hat zwei Scheiben. Jede von ihnen hat einen Durchmesser von 1^m,75. Die Elektricität, welche von dieser Maschine geliefert wird, hat eine solche Spannung, daß weder Seidenschnüre von 14^m Länge, noch gläserne Säulen von 1^m,53 Höhe, obgleich sie sehr trocken waren, keine große Menge Elektricität, wie die des geladenen Conduktors hinreichend isoliren können. Die Anziehung ist so groß, daß ein Draht von 2^m Länge in einer Entfernung von 1^m,29 von dem Ende des Conduktors angezogen wurde.

Cuthberson und andere Physiker haben mit ziemlich unvollständigen Elektrometern die Wirkung der Wärme gemessen, welche beim Entladen einer Batterie hervorgebracht wurde, indem sie zum Maße die Länge eines geschmolzenen Drahtes von gegebenem Durchmesser annahmen; sie haben gefunden, daß diese Wirkung beinahe sich wie das Quadrat der Ladung der Batterien für gewisse Längen des Drahtes verhalten. Dieses Gesetz verändert sich indessen oft nach der Dicke der Flaschen, welche die Batterie bilden, da die dicksten, wie man sehr leicht einsieht, geringere Wärmeerscheinungen hervorbringen. Cavendish beobachtete, daß die Menge Elektricität, welche erforderlich ist, um verschiedene Flaschen mit gleicher Belegung in demselben Grade zu laden, die nämliche sei, und im umgekehrten Verhältnisse zu ihrer Dicke stehe.

Nachdem von Marum verschiedene Metalldrähte von gleichem Diameter genommen hatte, so untersuchte er, welche Länge desselben Drahtes von einer gleichen Ladung geschmolzen werden könne, und fand, daß der Bleidraht bei einer Länge von 120 Zoll, der Zinndraht bei 120 Zoll, der Eisendraht bei 5 Zoll, das Gold bei $3\frac{1}{2}$ Zoll geschmolzen wurde; die Drähte von Silber, rothem Kupfer, wurden nicht bis zu $\frac{1}{4}$ Zoll geschmolzen. Indem er Bleidrähte von einer größeren

Länge zu schmelzen versuchte, z. B. von 13 (engl.) Fußen, so fand er, daß einige in mehreren Stücken geschmolzen wurden; der Bleidraht wurde auf mehr als dreißig Theile reduziert; und ein Zinndraht, der demselben Versuche unterworfen wurde, auf mehr als hundert Theile. Nachdem die Schmelzungsversuche im Stickstoff angestellt wurden, lieferte das Blei einen feinen Staub; das Zinn und das Eisen wurden auf mehrere kleine Kügelchen reduzirt.

Indem er im Wasser mit Eisendrähten von einer gewissen Länge und $\frac{1}{151}$ (engl.) Zoll Durchmesser operirte, wurde der Draht bloß geschmolzen; nachdem der Versuch bei einem etwas kürzeren Drahte angestellt wurde, wurde das Eisen in Rauch verwandelt, und es entwickelten sich mehrere Luftblasen, welche andeuteten, daß das Wasser zerlegt worden sei; das Blei brachte ähnliche Erscheinungen hervor.

Wenn die Ladung einer elektrischen Batterie nicht hinreichend war, um einen Metalldraht von kleinem Durchmesser zu schmelzen, so erzeugten sich Erscheinungen, deren Kenntniß von Wichtigkeit ist, und welche wir sogleich angeben wollen.

Nachdem Nairne eine sehr starke Ladung durch sehr feine Drähte von Silber und Eisen gehen ließ, welche zu lang waren, um geschmolzen zu werden, fand er, daß ihre Länge sich vermindert hatte, ohne daß ihr Gewicht es wurde, was eine Verminderung nach der Länge und eine Zunahme der Dicke anzuzeigen schien.

Nachdem Edmund Becquerel diesen Versuch wiederholt hatte, beobachtete er, daß diese Erscheinung nach mehreren Proben die Gestalt des Drahtes veränderte. Anstatt diesen zwischen den beiden Zängchen eines allgemeinen Erregers auszudehnen, ließ er ihn vertikal schweben, das eine von den Enden war zwischen den Armen eines Zängchens befestigt, und das andere trug ein Gewicht um den Draht leicht auszu-

spannen, dieses Gewicht ruhte auf einem kupfernen Träger mit beweglichen Füßen, den man nach Belieben erhöhen oder erniedrigen konnte. Dieser junge Physiker fand, indem er mit Platindrähten operirte, daß die Verminderungen im umgekehrten Verhältnisse des Kubus der Durchmesser der Drähte ziemlich proportional war.

Als Harris die Erscheinungen der Entladungen im leeren Raum, oder in der verdünnten Luft untersuchte, fand er, daß sehr feine Metalldrähte schwerer im leeren Raume als in der Luft, beim gewöhnlichen Drucke schmelzen; er ließ die Entladung einer Batterie von fünfundzwanzig englischen Quadratfußen durch einen Eisendraht gehen, der in eine ziemlich luftleere Röhre eingeschlossen war, ohne daß der Draht merklich angegriffen wurde. Die überflüssige Elektricität schien einen leichteren Weg durch die verdünnte Luft an der Oberfläche zu finden, woraus eine sehr glänzende Erscheinung entstand. Nachdem er Luft eindringen ließ, wurde der Draht alsbald geschmolzen, obwohl man nur ein Fünftel der belegten Fläche anwandte.

Edmund Becquerel brachte unter eine Glocke einen Platindraht von $0^{mm},072$ Durchmesser, dessen oberer Theil mit einem isolirten Stabe, der durch eine Lederbüchse ging, in Verbindung stand. Indem er in den leeren Raum, welcher bei einem Drucke von 5 Millimeter gemacht worden war, die Entladung einer Batterie von achtzehn Flaschen durch Drähte von $0^{mm},183$ Dicke und $0^{m},34$ Länge gehen ließ, fand er, daß die mittlere Verminderung 0,013 der Länge des Drahtes betrug; für einen Platindraht von demselben Durchmesser fand er $0^{mm},011$ für diese Abnahme in der Luft bei dem gewöhnlichen Drucke; man kann demnach daraus schließen, daß diese keinen Einfluß auf die Hervorbringung dieses Phänomens haben müsse.

Indem er einen Platindraht von $0^{mm},072$ Durch-

messer aufeinanderfolgenden elektrischen Entladungen aussetzte, welche fähig waren, ihn glühend zu machen, ohne ihn zu schmelzen, so bemerkte er, daß er bei der dritten oder vierten Entladung nicht mehr gerade war, wie zuvor, sondern wellenförmig wurde. In dem Verhältnisse, als die Ladungen auf einander folgten, nahm die Größe der wellenförmigen Theile zu, ohne je zu verschwinden, um andern Platz zu machen; indem man hierauf die Länge des Drahtes ein wenig verringerte und eine neue Entladung durchgehen ließ, so bildeten sich keine neuen Wellen, aber sie nahmen noch an Größe zu, welches auch die Stärke der Entladung sein mochte; wenn man den Draht gespannt erhielt, so verhinderte die Spannung die hervorzubringende Erscheinung. Aus diesem Versuche scheint hervorzugehen, daß der Draht durch die Wirkung des Durchgangs der Elektricität eine Wellenbewegung in transversaler Richtung erleidet, deren Geschwindigkeit so groß ist, daß der Draht die Wellen, welche von dem Durchgange der Elektricität in den ersten Augenblicken hervorgebracht wurden, behält.

Gehen wir nun zu den Wärmeerscheinungen, welche in den Metalldrähten durch den Durchgang des Volta'schen Stromes hervorgebracht werden, über. Wir beginnen mit den Untersuchungen, welche Peltier über diesen Gegenstand mit Strömen von schwacher Intensität angestellt hatte, indem er sich des Apparats (Fig. 19 Taf. V.), von welchem wir hier die Beschreibung geben wollen, bediente.

A und B sind zwei thermo-elektrische Paare, wovon ein jedes aus einem kleinen Stängchen Wismuth und einem andern von Antimon besteht.

C Kupferdraht, welcher das Antimon a′ des oberen Paares mit dem Wismuth b des unteren Paares verbindet.

D E Kupferdrähte, welche dazu dienen, die Communikation mit dem Galvanometer G herzustellen, mi

84 Windungen, und welche die Kette zwischen dem oberen Wismuth b″ und dem unteren Antimon a″ vervollständigen.

F H die freien Ende oder die Backen, welche eine Zange bilden, die eine Feder zusammen drückt und zwischen welche man eine sehr dünne Haut legt, um die metallische Berührung zu verhindern. Die Communikation ist so beschaffen, daß, wenn die beiden einander gegenüberstehenden Löthungen auf eine gleiche Weise erhitzt wurden, die beiden hervorgebrachten thermo-elektrischen Ströme sich vereinigen.

I K Stange, durch welche der Volta'sche Strom geht.

L M Conduktoren der Säule.

A′ A″ Kugeln eines Thermoskops, durch jede derselben geht ein Paar Wismuth und Antimon, deren Löthung in der Mitte ist, die beiden Paare können entweder unter sich, oder mit den beiden andern vorhin erwähnten Paaren vermittelst der Conduktoren m′ m″ m‴ m⁗, welche auf eine Weise angeordnet werden, um den Strom bald in der einen, bald in der andern Richtung leiten zu können, in Verbindung gebracht werden.

Vermittelst dieser Anordnung ist es begreiflich, daß, wenn man Drähte durch welche die Ströme gehen, zwischen die Backen der thermo-elektrischen Zange legt, die geringsten Veränderungen in der Temperatur dieser Drähte unmittelbar durch die Abweichung der Magnetnadel angegeben werden, überdies, wenn die Löthungen, welche sich in den Kugeln A′ und A″ befinden, ungleich erhitzt, oder die eine erwärmt, die andere abgekühlt wird, so gibt der Gang des Index des Thermoskops die hervorgebrachten Wärmeerscheinungen zu erkennen. Es ist gleich anfangs gefunden worden, daß, wenn man bei Drähten von verschiedenen Metallen, die Intensität des Stromes veränderte, eine Erhöhung der Temperatur stattfand, selbst wenn die Conduktoren homogen sind, daß die Wärme in der

ganzen Länge der Dräthe, ausgenommen an den Enden, wo sie größer oder geringer ist, je nachdem die Verbindungsdräthe bessere oder schlechtere Leiter sind, als das Metall des Drahtes, zunimmt oder abnimmt, die nämliche ist: indem man Kupferzangen anwendet, um diese Enden des Drahts zu halten, so sinkt die Temperatur, und die Erscheinung wird nach der Intensität des Stromes auf zwei oder drei Centimeter Entfernung wahrgenommen.

Als Peltier das Gesetz suchte, nach welchem sich die Aenderung der Temperatur nach der Intensität des Stromes oder dem Schnitte der Conduktoren richtet, so erhielt er folgende Resultate:

Kraft des Stromes.	Temperatur eines Kupferdrahts von 0,1 Millimeter Durchmesser.	Bemerkungen.
2	0°,7	
4	2	
6	4	Alle diese Grade wurden auf die Veränderungen der Magnetnadel bezogen, und können wegen der Construktion des Apparates als proportional angesehen werden.
8	6	
10	9	
12	12	
16	18	
20	27	
24	36	

Resultate, welche durch Veränderung des Schnitts der Dräthe erhalten wurden.

Durchmesser des Drahtes	Temperatur für einen Strom von 15°	Temperatur für einen Strom von 30°.
0mm,8	2°,4	7
8,6	4,7	14
4	7	21
3	14	42

Die vorhergehenden Resultate zeigen, daß das Ver-

hältniß der Intensität des Stromes zur Temperatur von der Art ist, daß für einen doppelten Strom oder einen um die Hälfte geringeren Durchmesser, die Temperatur das Dreifache ist. Dieses Gesetz findet bei einem homogenen Leiter Statt, wenn man aber den Strom durch Ketten, welche aus mehreren Metallen bestehen, gehen läßt, so findet man, daß die Temperatur nach der Richtung des Stromes bei den meisten unter ihnen sich verändert, indem eine größere Erhöhung der Temperatur stattfindet, wenn die negative Elektricität von einem bessern Leiter in einen minder guten übergehe, z. B. vom Kupfer zum Eisen, zum Zink, zum Blei u. s. w. Das Gegentheil findet bei dem positiven Strome Statt, und in dem letzteren Falle ist diese Thatsache merkwürdig.

Die Metalle, welche leicht krystallisiren, wie z. B. das Wismuth, das Antimon und wahrscheinlich das Arsenik bringen eine beträchtliche Erniedrigung der Temperatur an der einen von den Löthungen hervor. Diese Thatsache ist eine Anomalie, denn es findet immer Erhöhung der Temperatur Statt, wenn der Strom von einem Leiter in einen andern übergeht; wir wollen aber sogleich sagen, daß diese Erscheinung sich nicht über eine gewisse Intensität des Stromes hinaus kund gibt. Auf folgende Art hat Peltier diese Thatsache augenscheinlich gemacht.

Nachdem er eine Platte Wismuth zwischen zwei Kupferplatten gelöthet und die Kette geschlossen hatte, so ließ er einen Strom hineingehen, dessen Intensität er nach und nach verstärkte und erhielt an der Löthung durch welche der negative Strom ging, folgende Resultate:

Der Strom von

15° gab die Temperatur . . .	— 2°,5
20	— 4 ,5
28	— 4 ,5
30	— 0
35	+ 4

Es fand demnach eine Temperaturerniedrigung an der Löthung Statt, so lange die Intensität des Stroms nicht gleich 30° war.

Peltier hat überdies an der Löthung, durch welche der positive Strom ging, eine Temperatur von 10 bis 50 galvanometrischen Graden erhalten. Man sieht ein, daß zwischen der Erhöhung der Temperatur am einen Ende und Erniedrigung am andern Null sein müsse, welche vorwärts oder rückwärts schreitet, je nachdem man sich dem Maximum der Erscheinungen nähert oder von demselben entfernt. Indem man die Intensität des Stroms vermehrt, so schreitet die 0 bis zur negativen Löthung zurück, dann findet eine Erhöhung der Temperatur Statt, welche immer geringer als die der andern Löthung ist. Derselbe Physiker hat gleichfalls untersucht, was mit den Wismuth- und Antimonstangen vor sich gehe; aber zuvor hat er jede dieser Stangen wie früher probirt, indem er sie nämlich zwischen zwei Kupferplatten legte.

Wismuthplatte, welche zwischen zwei Kupferplatten gelöthet wurde.

	Temperatur.
Löthung, durch welche der positive Strom ging	+ 20°
An der andern Löthung	— 10

Antimonplatte, welche zwischen zwei Kupferplatten gelegt wurde.

An der positiven Löthung	+ 5°
An der negativen Löthung	— 10

Nachdem die beiden Platten von Wismuth und Antimon zusammen geschmolzen waren, so erhielt man an derselben Löthung mit dem positiven Strome der vom Wismuth zum Antimon ging . . . — 37°
Mit dem negativen Strome . . . . + 45

Diese Abkühlung, welche von dem Durchgange eines Stromes von schwacher Intensität vom Wismuth zum Antimon erzeugt wurde, wird vermittelst des Thermoskops F Figur 19. Tafel VI. gefunden, indem man die Communikationsdrähte auf eine solche Weise anordnet, daß der positive Strom vom Wismuth zum Antimon in eine von den Löthungen A'A'' geht, und von dem Antimone zum Wismuth in die andere, in diesem Falle geht der Index gegen die abgekühlten Seiten.

Wir machen in Beziehung auf die Temperatur-Erniedrigung, welche stattfindet, wenn das Antimon positiv ist, d. h. wenn es sich in dem nämlichen elektrischen Zustande befindet, wie derjenige ist, welchen es annimmt, wenn man es an Wismuth reibt, oder auch, wenn man die Temperatur der Verbindungspunkte Wismuth und Antimon der beiden an einem ihrer Ende zusammengelötheten Stangen erhöht, wir machen, sagen wir, darauf aufmerksam, daß, wenn man einen positiven Strom von schwacher Intensität vom Wismuth zum Antimon gehen läßt, man die natürlichen elektrischen Zustände der beiden Metalle hervorbringt und in diesem Falle sollte Temperaturerhöhung stattfinden, was nicht der Fall ist; es findet also hier eine Erscheinung Statt, welche wir nicht kennen. Wir dürfen nicht vergessen, mehrerer Beobachtungen zu erwähnen, die nicht ohne Wichtigkeit sind. Es findet immer Temperaturerhöhung an den Verbindungspunkten zweier Metalle Statt, wie schwach auch die Elektricität des Stromes sein mag, wenn die Elektricität auf ihrem Wege ein Hinderniß oder eine Unterbrechung der Stetigkeit antrifft, das sie nicht überspringen kann ohne einen Theil ihrer Intensität zu verlieren. Auf diese Weise findet immer beim Contakte zweier Kupferdrähte zweier Wismuthplatten Wärmeerzeugung Statt, so lange als die Drähte nicht gelöthet sind; man findet beständig

einen leichten Unterschied zu Gunsten des negativen Stromes. Diese Thatsache gehört zu dem bekannten Principe nämlich, daß die positive Elektricität mehr Tauglichkeit besitze, die Verzögerungskraft der schlechten Leiter zu überwinden, als die andere Elektricität; sie muß also im Allgemeinen eine geringere Temperaturerhöhung hervorbringen als die negative Elektricität.

De la Rive beschäftigte sich damit, die Wärmeerscheinungen, welche von dem Durchgang wenig intensiver Ströme in metallischen Ketten hervorgebracht wurden, zu untersuchen; er bediente sich dazu eines Breguet'schen Thermometers, an welchem er leichte Modifikationen anbrachte; die Schraube machte einen Theil einer Kette aus, durch welche ein Strom ging. Er gab sich vorzüglich damit ab, zu untersuchen, wie groß auf diesem Apparate der Einfluß von einem oder mehreren Diaphragmen sein könne, welche sich in einer Flüssigkeit befinden, durch welche der Strom ging, welcher den Draht des Multiplikators durchlief. Folgendes sind die erhaltenen Resultate, indem er den Strom nach der Reihe durch den magnetischen Multiplikator, den Wärmemultiplikator und die Salpetersäure gehen ließ, in welcher sich Platinplatten befanden. Der Strom kam von einer Säule mit acht Paaren her, wovon jedes $0^m,110$ Quadrat-Centimeter Oberfläche hatte.

	Galvanonometer.	
Platten	magnetischer	Wärme.
1	85	312
2	84	170
3	83	115
4	75	12
5	40	0
6	37	0

Diese Resultate zeigen, wie die Geschwindigkeit

des Stroms eine nothwendige Bedingung für die Wärmeentwicklung ist, wenn dieser Strom einem Widerstande begegnet. Der Einfluß dieser Geschwindigkeit ist nach de la Rive so beschaffen, daß es scheint, daß die Elektricitätsmenge ihn nicht compensiren kann, weil mit einer Säule, die aus Elementen von 0^{m},45 Quadrat-Centimetern Oberfläche besteht, die Wärmeerscheinungen abnehmen, wenn man mehr als zehn oder zwölf Paare anwendet.

Welches sind die Wärmeerscheinungen, die in Flüssigkeiten durch den Durchgang eines Stromes hervorgebracht werden? Wir geben hier die Versuche, welche über diesen Gegenstand angestellt worden sind: nachdem Oerstedt einen Thermometer in das Wasser getaucht hatte, wo sich zwei Platinplatten befanden, die mit einer Volta'schen Säule in Verbindung standen, fand er, daß das Thermometer, welches sich nahe am positiven Leiter befand, 20°,5 angab, während das, welches sich beim negativen Leiter befand, 18° und ein drittes, das in der Mitte war, 23° anzeigte.

Darf man nicht den Unterschied, welcher zwischen der am positiven und negativen Pole entwickelten Wärme dem Umstande zuschreiben, daß die Gase bei ihrer Entwicklung nicht dieselbe Menge Wärme aufnehmen? Auf der negativen Seite befinden sich zwei Volumen Wasserstoffgas auf ein Volumen Sauerstoffgas am positiven Pole; wir wissen nun, daß die specifische Wärme des Wasserstoffgases gleich 0,296 und die des Sauerstoffgases 0,2361 ist; es folgt daraus, daß die beiden Volumina des ersten Gases mehr Wärme absorbiren müssen als das Volumen des zweiten. Es ist demnach nicht überraschend, daß der Theil der Flüssigkeit, welcher an den negativen Conduktor anstößt, eine weniger hohe Temperatur anzeigt, als der Theil der Flüssigkeit, welcher mit dem positiven Conduktor in Berührung steht.

Wir wollen zu den Erscheinungen übergehen, welche durch energischere Ströme hervorgebracht wurden.

Davy beobachtete, daß die Entladung einer Batterie mit großen Platten in voller Aktivität, welche durch einen Eisendraht von $0^m,650$ Länge auf $0^{mm},3$ Durchmesser, der in Wasser eintaucht, geht, eine Temperatur erlangt, welche hinreichend ist, um es zum Sieden zu bringen. Man kann dieses Mittel, wie wir nachher sehen werden, gleichfalls anwenden, um die Wärmemenge zu messen, welche in einer gegebenen Zeit von dem Durchgange der Elektricität in einem metallischen Leiter hervorgebracht wird.

Indem man gut ausgeglühte Kohlenstücke an den beiden Enden der beiden Conductoren der Säule befestigt, sieht man im Wasser lebhafte Funken daraus sprühen. Die beiden Enden der Kohle schienen einige Zeit lang weiß zu glühen. Es fand eine reichliche Gasentwicklung Statt, die mit einem dem Kochen einer Flüssigkeit ähnlichen Geräusche begleitet war. Die Erscheinungen waren die nämlichen, wenn man dem Wasser flüchtige Oele, Aether, Alkohol substituirte.

Das Glühen der Kohle kam wahrscheinlich davon her, daß sie während ihres Contaktes mit der Flüssigkeit von Gaskügelchen umgeben war, welche die entwickelte Wärme abhielten, sich in der umgebenden Flüssigkeit zu verbreiten.

Davy untersuchte, ob die bei chemischen Wiederzusammensetzungen entwickelte Wärme nicht gleichfalls ihr Vorkommen elektrischen Kräften verdanke. Nachdem er zu diesem Zwecke in die Kette einer kleinen Batterie von 100 Scheibenpaaren zwei Kegel von Gold, welche mit destillirtem Wasser angefüllt waren und durch einen Asbestdocht in Verbindung standen, gebracht hatte; so tauchte er nacheinander ein Thermometer in jede von den Flüssigkeiten, alsdann brachte er in das Wasser des positiven Kegels einen Tropfen von schwefelsaurer Kalilösung: die Zersetzung

fing alsbald an und wurde von einer Temperaturerhöhung begleitet, welche hinreichend war, das Wasser in weniger als zwei Minuten ins Kochen zu bringen. Bei einer salpetersauren Ammoniaklösung stieg die entwickelte Wärme dergestalt, daß sie in drei bis vier Minuten das Wasser mit einem Explosion ähnlichen Geräusche gänzlich verdampfte; eine gewisse Menge Kalilauge, welche in den Kegel mit concentrirter Schwefelsäure gebracht wurde, brachte nur schwache Wärmeerscheinungen hervor. Diese Thatsachen machen den Einfluß der elektro-chemischen Zersetzung der Flüssigkeit auf die Wärmeerscheinungen augenscheinlich. Die Wärme würde demnach hier durch die Neutralisation der beiden Elektricitäten, welche durch die Zersetzung frei geworden waren, hervorgebracht werden.

Der folgende Versuch scheint ferner zu beweisen, daß die Wärme von der Vereinigung der beiden Elektricitäten gebildet wird. Indem Davy sehen wollte, bis zu welchem Punkte die Wärmeerscheinungen gehen können, welche von einer starken Säule hervorgebracht wurden, operirte er mit der von dem königlichen Institut zu London, welche aus zweitausend Paaren besteht. Sein Apparat bestand aus einem Ballon, der mit zwei Lederbüchsen versehen war, in welche zwei starke Stangen gingen, die man nach Belieben einander nähern oder von einander entfernen konnte; an jedem Ende der Stäbe war ein kleiner Kegel von gut ausgeglühter und in Quecksilber gelöschter Kohle befestigt, damit sie ein besserer Leiter wäre. Nachdem die Spitzen der beiden Kegel in eine geringe Entfernung von einander gebracht wurden, brachte man die beiden Stäbe in Verbindung mit den Polen der Säule. Die elektrische Entladung übersprang den Zwischenraum, welche die beiden Spitzen trennte; es entstand daraus ein Lichtstrahl, dessen Glanz alle Lichter, welche man erzeugen kann, bei weitem über-

traf, und die Wärme war so intensiv, daß die Kohle und das Wasserblei verflüchtigt wurden. Die beiden Kohlenpunkte waren so angebracht, daß man sie bis zu einer Entfernung von 0m,108 bringen konnte, ohne daß der Lichtstrahl unterbrochen wurde. Indem man den Versuch im leeren Raum anstellte, dauerten die Wärme- und Lichterscheinungen mehrere Stunden lang, ohne daß das Gewicht der Kohle merklich veringert wurde. Die brechbarsten Substanzen, wie z. B. der Quarz, die Magnesia, der Kalk, der Saphir, welche dieser enormen Wärme unterworfen wurden, geriethen leicht ins Schmelzen.

Doktor Hare erhielt mit einem Apparate von achtzig Schrauben-Paaren, welchem er den Namen Deflagrator gegeben hat, nicht minder überraschende Wärmeerscheinungen. Nachdem er Wasserblei an der negativen und gut zubereitete Kohle an den positiven Pol gebracht hatte, so brachte er diese beiden Substanzen in Contakt; der Funke war sehr lebhaft und man sah leicht die Kügelchen von geschmolzenem Wasserblei mitten in dem Glühen. Kein Kügelchen erschien an dem Platze des Wasserbleis, wo sich der Brennpunkt der Wärme befand; es fand nur eine hemisphärische Aushöhlung Statt und das Wasserblei hatte das Ansehen einer Schlacke. Am positiven Pole verlängerte sich die Kohle gegen das Wasserblei, und die schwarze Masse, welche sich daselbst anhäufte, zeigte ganz den Zustand der Schmelzung; alles schien glauben zu machen, daß sie in Dampf verwandelt sei: das Ende der Kohle war mit zahlreichen Kügelchen von glasartiger Masse bedeckt; die vom Brennpunkt entferntesten hatten eine schwarze Farbe, andere waren braun und gelb gefärbt, und andere waren klar wie Flintglas und glichen dem Hyalithe. Diese Kügelchen, welche einem starken Drucke, ohne zerbrochen zu werden, widerstehen können, ritzten das Fensterglas und Flintglas.

Mit einer Säule von mittlerer Größe, wie z. B. einer Wollaston'sche Säule von zehn Paaren, kann man beträchtliche Wärme- oder Lichterscheinungen erhalten, wenn man mit einem gut geglühten und in Quecksilber gelöschten Kohlenstücke experimentirt, das man mit dem einen Ende der Säule verbindet und einen Platindraht mit dem andern in Verbindung bringt; in dem Augenblicke, wo man die Kohle mit dem Drahte berührt, indem man einen Druck anwendet, entsteht eine Lichtentwicklung, die das Auge kaum ertragen kann. Die Wärme ist so intensiv, daß das Ende eines Platindrahtes von ½ Millimeter Durchmesser wie Blei schmilzt.

Man kann die bei dem Durchgange energischer Ströme durch Metalldrähte entwickelte Wärme, die aber keine so große Intensität hat, wie die von den Strömen, welche Davy und Doktor Hare hervorbrachten, nützlich anwenden, um verschiedene chemische Reaktionen zu bewirken: wir haben zu diesem Ende eine Säule mit constantem Strome angewandt, die wir später beschreiben werden und die aus 12 Platten besteht, von denen eine jede aus zwei Elementen Kupfer und Zink gebildet wird, die 42 Centimeter Höhe auf 31 Breite hat. Wir theilen hier das beim Versuche angewandte Verfahren mit:

Ein Platindraht von ½ bis 1 Millimeter Durchmesser, in welchen man einen kräftigen Strom gehen ließ, wird auf einem gewissen Theil seiner Länge weiß glühend. Wenn man sich aber, anstatt eines geraden Drahtes, eines Drahtes bedient, der in seiner Mitte spiralförmig gewunden ist, dessen Spiralen sich so verjüngen, daß sie einen Kegel bilden, dessen Windungen sich nicht berühren, oder, wenn man ihn schraubenförmig windet, so conzentrirt sich die Wärme in einem sehr beschränkten Raume, und wenn sie bis zur Weißglühhitze gebracht wird, so hat man in dem beschriebenen Raume eine äußerst hohe Temperatur,

welche fähig ist, oft die strengflüssigsten Körper zu schmelzen. Die Spirale ist dazu bestimmt, kleine Tiegel, die Schraube Kapseln oder kleine Kuppeln aufzunehmen. Die Tiegel sind, je nachdem man Wirkungen hervorbringen will, aus Metall, Porzellan, aus feuerfestem Thone, und haben im Allgemeinen dünne Wände; man kann sich gleichfalls der Kohlentiegel bedienen, wodurch man eine äußerst große Wärme erhält, welche aus der Verbindung der Wirkungen des Verbrennens der Kohle und dem Durchgange der Elektricität in dem Drahte entsteht. Die Asche, welche von dieser Verbindung herrührt, schmilzt mit dem Flusse und bildet eine dünne glasartige Hülle, welche die Spiralen des Drahtes umgibt. Wenn diese Hülle nicht hinreichend dick ist, so verbindet sich der Metallknopf mit dem Platin. Um die Temperatur zu vermehren, stellt man unter die Spirale oder die Schraube eine Weingeistlampe, deren Flamme den Tiegel einhüllt. Die Wärme wird alsdann so intensiv, daß sie manchmal Platindrähte von einem ziemlich großen Durchmesser schmilzt; man ordnet jedoch den Apparat so an, daß man nach Belieben die Flamme nähern und entfernen, und somit die Temperatur leiten kann. Bei ein wenig Geschicklichkeit wird man durch den Lichtblick benachrichtigt, ob man dem Schmelzpunkte des Drahtes nahe ist oder nicht.

Um zu kupelliren bedient man sich platter Kupellen aus Knochenasche und bläst Luft auf das Metallbad. Man schmolz auf diese Weise und kupellirte einige Decigramme eines Golderzes, dessen Gehalt 0,00002 war, der Knopf war sichtbar.

Dieses Versuchsverfahren hat den Vortheil, Schmelzungserscheinungen in mehreren Mitteln zu bewirken, denn man darf nur die Spirale oder die Schraube in eine Glocke stellen die das Gas enthält, welches man auf die Substanzen reagiren lassen will, die der Wirkung der Wärme unterworfen werden.

Wartmann wollte die Frage behandeln, welche sich auf die Erwärmung der Metallconduktoren, die von einem Strome durchzogen werden, bezieht, und gab sich damit ab, die elektrische Diathermansie eines Körpers, d. h. das Vermögen zu bestimmen, mehr oder minder Wärme durch den Durchgang eines Stromes auszustrahlen, ohne Rücksicht auf das Leitungsvermögen der Ketten und auf die complizirten Wärmeerscheinungen zu nehmen, welche hervorgebracht wurden, wenn der Strom außer der Schraube des Thermometers, durch Paare von verschiedenen Metallen geht, in welche diese letzteren mehr oder minder gut auf einander gelegt, anstatt gelöthet zu werden. Obgleich diese Untersuchungen nicht die Richtung haben, welche man einschlagen muß, um zu den Gesetzen zu gelangen, nach welchen sich die Wärmeentwicklung in den leitenden Drähten, die von einem elektrischen Strome durchzogen werden, wegen des mehr oder minder großen Widerstandes, welchen er daselbst nach seiner Intensität erleidet, richtet; so müssen wir demungeachtet die Resultate anführen, welche von diesem Physiker erhalten wurden, weil sie bisweilen bei der Aufgabe, die uns beschäftigt, in Betracht gezogen werden können. Er wandte das Breguet'sche Thermometer an, welches mit den nöthigen Erfordernissen versehen war, damit die Schraube dieses Thermoters von dem Strome durchzogen würde. Die Empfindlichkeit seines Apparates war von der Art, daß bei einer Temperaturdifferenz von 1 Centesimalgrad die Nadel 14 Theilstriche des Quadranten durchlief. Der Volta'sche Apparat, welcher dazu bestimmt war den Strom zu liefern, bestand aus einem großen Wollaston'schen Elemente, wovon der Zink amalgamirt und die Flüssigkeit gesäuert war. Die polaren Leiter waren zwei sehr dicke Kupferstangen, die an ihren freien Enden gekrümmt waren, damit man jedes in ein mit reinem Quecksilber angefülltes

Glas tauchen konnte; vier ähnliche Gläser, welche gleichfalls mit Quecksilber angefüllt waren, wurden neben die beiden ersten in einer Linie gestellt; vier rothe Kupferplatten tauchten mit einem Ende bis auf den Boden, während das andere Ende jeder Platte vierfach gebogen war und sich in eine horizontale Fläche endigte, die dazu bestimmt war, eines von den Enden der beiden zum Versuche bestimmten Stangen zu tragen; die beiden Gläser, welche dem Thermometer am nächsten waren, standen mit ihm vermittelst kupferner, den vorhergehenden ähnlichen Stangen in Verbindung. Die beiden Gläser mit dem Volta'schen Apparate communicirten mit den beiden Gläsern, welche in der Mitte standen, mit Hülfe ähnlicher Stangen. Die in Quecksilber getauchten Theile waren endlich gereinigt und amalgamirt.

Um die Erscheinung der Intensitätsveränderungen der Säule und die Verzögerung der Schraube zu zerstören, kehrt man die Richtung des Stromes um. Die Beobachtungen wurden an einer Reihe von fünf Versuchen in jeder Richtung angestellt.

Wartmann ließ den Strom nach einander in zwei von den folgenden Metallen gehen, Stahl, Antimon, Silber, Wismuth, Cadmium, Kupfer, Zinn, Eisen, Messing, Quecksilber, Platin, Blei und Zink. Die Metalle bestanden aus Cylindern, Drähten, oder aus Blättern. Wir theilen in der folgenden Tabelle einige von den Resultaten mit, welche Wartmann erhielt. Die Buchstaben E und S geben die Mengen an, welche sich auf das Eintreten oder den Ausgang des Stromes durch das Metall beziehen, dessen Name in der Colonne links steht.

Namen der Paare.		Mittlere Abweichungen. E	S	Differenzen.
		Grade	Grade	Grade
Stahl.	Antimon . . .	95,57	100,05	— 4,48
"	Silber . . .	175,85	174,14	+ 1,71
"	Wismuth . . .	61,53	60,80	+ 0,73
"	Cadmium . .	133,55	133,30	+ 0,25
"	Kupfer . . .	251,65	253,05	— 1,40
"	Zinn	148,40	149,60	— 1,20
"	Eisen	140,60	141,20	— 0,60
"	Messing . . .	105,70	99,15	+ 6,65
"	Quecksilber . .	168,47	168,42	+ 0,05
"	Gold	234,06	234,93	— 0,87
"	Platin. . . .	163,00	161,14	+ 1,86
"	Blei	152,57	151,77	+ 0,80
"	Zink	148,29	135,61	+12,68
Antimon.	Silber . . .	149,42	149,12	0,00
"	Wismuth . .	184,60	133,88	+50,72
"	Cadmium . . .	185,81	187,68	— 1,87
"	Kupfer . . .	282,84	278,73	+ 4,11
"	Zinn	159,54	165,72	— 6,18
"	Eisen	170,00	172,15	— 2,15
"	Messing . . .	294,00	280,90	+13,10
"	Quecksilber . .	153,27	155,18	— 1,91
"	Gold	344,57	345,28	— 0,71
"	Platin . . .	226,51	228,00	— 1,49
"	Blei	236,57	236,35	+ 0,22
"	Zink	108,00	106,93	+ 1,07
Silber.	Wismuth . .	146,70	138,20	— 8,50
"	Cadmium . . .	237,73	238,20	+ 0,47
"	Kupfer . . .	406,90	404,20	— 2,70
"	Zinn	326,00	327,40	— 1,40
"	Eisen	306,96	309,08	— 2,12
"	Messing . . .	424,50	424,50	+ 0,00
"	Quecksilber . .	249,00	248,85	+ 0,15
"	Gold	257,60	255,80	— 1,80
"	Platin . . .	199,00	199,50	— 0,50
"	Blei	381,00	362,44	— 1,44
"	Zink	311,60	312,00	+ 0,40
Wismuth.	Cadmium . .	155,34	151,09	+ 4,25
"	Kupfer . . .	146,10	146,10	0,00
"	Zinn	253,06	253,00	+ 0,06
"	Eisen	158,26	157,53	+ 0,73
"	Messing . . .	151,80	147,00	+ 4,80
"	Quecksilber . .	248,35	246,85	+ 1,50

Namen der Paare.		Mittlere Abweichungen.		Differenzen.
		E	S	
		Grade	Grade	Grade
Wismuth.	Gold	322,68	324,36	— 1,68
"	Platin . . .	127,43	135,73	— 8,30
"	Blei	204,86	213,66	— 8,80
"	Zink	110,16	99,83	+10,33
Cadmium.	Kupfer . . .	306,00	308,11	— 2,11
"	Zinn	206,66	209,11	— 2,45
"	Eisen	171,50	169,22	+ 2,28
"	Messing . . .	316,62	318,75	— 2,13
"	Quecksilber . .	115,20	114,60	+ 0,60
"	Gold	122,46	122,80	— 0,34
"	Platin . . .	115,90	115,90	0,00
"	Blei	211,60	213,45	— 1,85
"	Zink	100,80	100,80	0,00
Kupfer.	Zinn	227,55	226,22	+ 1,33
"	Eisen	304,60	304,00	+ 0,60
"	Messing . . .	115,28	152,42	— 1,14
"	Quecksilber . .	320,66	318,50	+ 2,10
"	Gold	292,46	292,73	— 0,27
"	Platin . . .	307,77	308,65	— 0,88
"	Blei	333,71	334,85	— 1,14
"	Zink	264,50	264,75	— 0,25
Zinn.	Eisen . . .	312,37	313,12	— 0,75
"	Messing . . .	326,50	326,10	+ 0,40
"	Quecksilber . .	327,66	327,66	0,00
"	Gold	433,00	453,00	0,00
"	Platin . . .	340,43	340,43	0,00
"	Blei	310,25	309,83	+ 0,42
"	Zink	193,25	192,62	+ 0,63
Eisen.	Messing . . .	249,90	249,20	+ 0,70
"	Quecksilber . .	191,00	188,54	+ 2,46
"	Gold	106,50	104,00	+ 2,50
"	Platin . . .	306,10	304,72	+ 1,38
"	Blei	283,53	281,13	+ 2,40
"	Zink	231,92	234,03	— 2,11
Messing.	Quecksilber . .	273,22	272,11	+ 1,11
"	Gold	358,50	360,12	— 1,52
"	Platin . . .	306,10	304,72	+ 1,38
"	Blei	296,80	296,80	0,00
"	Zink	277,02	278,67	— 1,65
Quecksilber.	Gold	282,25	281,25	+ 1,00
"	Platin . . .	269,00	269,80	— 0,80
"	Blei	317,57	317,42	+ 0,15

Name der Paare.		Mittlere Abweichungen. E	Mittlere Abweichungen. S	Differenzen.
		Grade	Grade	Grade
Quecksilber.	Zink	268,60	266,30	+ 2,30
Gold.	Platin . . .	183,14	182,71	+ 0,43
"	Blei	407,50	407,50	0,00
"	Zink	175,00	174,00	+ 1,00
Platin	Blei	301,66	300,55	+ 1,11
"	Zink	281,45	284,90	— 3,45
Blei.	Zink . . . , .	321,25	322,20	— 0,90

Indem man Fehler, welche bei Versuchen, welche auf jene Resultate geführt haben, unvermeidlich sind, nicht berücksichtigt, meint Wartmann, daß man die Resultate, deren Differenz nicht zwei Grade übersteigt, für ziemlich gleich halten müsse. Diese Tabelle zeigt, daß man die Ordnung nach elektrischer Diathermansie bestimmen und begründen könne, in welcher jedes von den Metallen weniger gut leitet, als diejenigen, welche ihm vorangehen, aber besser als diejenigen, welche ihm nachfolgen, wenn man ein Paar aus ihnen bildet:

Zinn,	Gold,
Antimon,	Blei,
Stahl,	Wismuth,
Zink,	Kupfer,
Platin,	Cadmium,
Eisen,	Messing,
Silber,	Quecksilber.

Diese Ordnung ist von derjenigen der Metalle sehr verschieden, welche nach ihrem Leitungsvermögen für die Wärme und die Elektricität geordnet sind. Wartmann untersuchte, ob man nicht einen Unterschied zwischen der Leitungsfähigkeit der bereits bestehenden Wärme und für die Wärme, welche durch den Widerstand hervorgebracht wird, welchen die Elektricität

beim Durchgehen durch die Leiter erleidet, begründen könne.

Wir machen bemerklich, daß mehrere Paare keinen merklichen Unterschied bei ihrer relativen Diathermansie nach der Richtung des Stroms gezeigt haben.

Es sind:

Antimon = Silber,
Silber = Messing,
Wismuth = Kupfer,
Cadmium = Platin,
Cadmium = Zink,
Zinn = Quecksilber,
Zinn = Gold,
Zinn = Platin,
Messing = Blei,
Gold = Blei.

Man muß bemerken, daß sich in diesen zehn Paaren die krystallisirbaren Metalle, wenig reguläre Krystalle, wie z. B. das Antimon, das Wismuth und das Zink, befinden, d. h. diejenigen mit wenig homogener Textur.

Die einundachtzig anderen Paare können in drei verschiedene Gruppen getheilt werden: die einen der Zahl nach fünfundfünfzig zeigen nur Verschiedenheiten von höchstens 2°, welche vernachläßigt werden können.

Die zweiten zeigen Verschiedenheiten die zwischen 2 und 4° liegen, es sind:

Antimon = Eisen,
Silber = Kupfer,
Silber = Eisen,
Cadmium = Kupfer,
Cadmium = Zinn,
Cadmium = Eisen,
Cadmium = Messing,
Kupfer = Quecksilber,
Eisen = Quecksilber,
Eisen = Gold,

Eisen = Blei,
Eisen = Zink,
Platin = Zink.

Die letzte Gruppe besteht aus Paaren, deren Unterschiede höher als 4° sind; es sind:

Stahl = Antimon,
Stahl = Messing,
Stahl = Zink,
Antimon = Wismuth,
Antimon = Kupfer,
Antimon = Zinn,
Antimon = Messing,
Silber = Wismuth,
Wismuth = Cadmium,
Wismuth = Messing,
Wismuth = Platin,
Wismuth = Blei,
Wismuth = Zink.

Es ist zu bemerken, daß diese Gruppe aus brüchigen Metallen bestehe, welche unter sich vereinigt oder mit streckbaren Metallen verbunden sind. Man findet ferner, daß der Stahl, das Silber, das Cadmium, das Zinn, das Quecksilber, das Platin und das Blei der Wärme des negativen Stromes einen bedeutenderen Widerstand leisten als die, welche vom positiven Strome herrührt; während das Gold, das Messing, das Wismuth, das Antimon und besonders das Kupfer, das Zink und das Eisen einige leichte Differenzen zu zeigen scheinen.

Wartmann beobachtete, wie wir und Peltier, Umkehrungen in den Abweichungswerthen, welche von demselben Paar, durch das derselbe Strom ging, geliefert wurden. Diese Umkehrungen wurden bei vierundvierzig Paaren beobachtet, wenn eines von den Metallen, gewöhnlich dasjenige, dessen Textur am wenigsten homogen war, ganz umgekehrt wurde, indem die Richtung des Stroms nach der

Umkehrung die nämliche bleibt. Diese Paare werden beinahe ausschließlich von Stahl, Antimon, Wismuth, Cadmium, Eisen, Platin, Blei und Zinn gebildet. Im Allgemeinen unterscheiden sich die Paare, in welchen der Stahl, das Blei und das Cadmium eine Rolle spielen durch die Schwierigkeit, mit welcher der Strom sie durchzieht und durch das langsame, stufenweise Erwärmen, welches die Schraube angibt.

Bei diesen Versuchen bemerkte Wartmann keine Erzeugung von Kälte.

Er hat eine Folgerung angegeben, welche wir erwähnen müssen: nämlich, daß man die Folgeordnung der heterogenen Leiter, durch welche sich ein elektrischer Strom fortpflanzt, berücksichtigen müsse und daß es gewöhnlich für das Maß der Flüssigkeitsmengen, welche sie durchströmen müssen, nicht gleichgültig ist, dem Strome, welcher durch einen homogenen Leiter geht, eher diese als eine andere Richtung zu geben.

Der Verfasser schreibt diesem Umstande die bedeutenden Verschiedenheiten in den Resultaten zu und leitet folgende Folgerungen aus seinen Versuchen ab:

1) Die Paare, welche aus verschiedenen nicht gelötheten Metallen bestehen, zeigen in ihrer elektrischen Diathermansie beträchtliche Differenzen, je nach der Richtung der Ströme, welche sie durchziehen. Diese Differenzen sind besonders bei den Paaren bemerkenswerth, wo ein Metall mit krystallinischer Textur vorkommt; sie sind Null oder beinahe bei Paaren, welche nur streckbare Metalle enthalten.

2) Das Vermögen der elektrischen Diathermansie ist weder der Leitungsfähigkeit für die Wärme, noch der Leitungsfähigkeit für die Elektricität proportional.

3) Die nämlichen Paare zeigen Umkehrungen in ihrer relativen Diathermansie, je nach der Intensität des Stroms, welcher sie durchzieht und der Umwen-

dung der Metalle, wenn die Richtung des Stromes und alle anderen Zustände unveränderlich bleiben.

4) Diese Umkehrungen werden ebenfalls in einem homogenen, wenig oder gar nicht streckbaren Leiter beobachtet, und rühren vielleicht von einer Polarisation der Moleküle her; sie verschwinden nach einer gewissen Zahl von Umwendungen des Conduktors.

5) Die Erzeugung der Kälte von dem Durchgang eines galvanischen Stroms ist wahrscheinlich eine Wirkung der Metalllöthungen eines heterogenen Paars.

Bis jetzt war wirklich nur von allgemeinen Thatsachen, welche sich auf die Wärmeerzeugung während des Durchgangs der Elektricität in metallischen Ketten beziehen und von einigen besonderen Gesetzen, und nicht von allgemeinen Gesetzen die Rede, welche dieses Phänomen leiten; diese letzteren werden uns jetzt beschäftigen.

Es ist jetzt hinlänglich bewiesen, daß die Wärme, welche in einem leitenden Drahte, durch welchen ein Strom geht, hervorgebracht wird, um so größer ist, je mehr Widerstand dieser Strom erleidet, und daß der Draht demnach ein minder guter Leiter ist. Da nun das Leitungsvermögen im umgekehrten Verhältnisse zu der Länge, und im geraden Verhältnisse zu dem Querschnitte des Drahtes steht, so war es sehr natürlich, daraus zu schließen, daß die entwickelte Wärmemenge im umgekehrten Verhältniß zum Leitungsvermögen stehe. Harris und andere Physiker haben dieses Gesetz mit Hülfe der gewöhnlichen Elektricität bestätigt.

J. P. Joule that es mit der Volta'schen Elektricität, er ließ jedoch bei seinen Versuchen ein anderes Element mitwirken, nämlich die Intensität des Stroms. Der Apparat, von dem er Gebrauch machte, bestand: 1) aus einem Multiplikator, einer sogenannten Tangentenbussole; 2) aus dem Metalldraht, dessen Wärme-

erregungsvermögen man kennen lernen will, und der auf folgende Weise zugerichtet war: dieser Draht geht in eine sehr dünne gläserne Röhre, man läßt nur ein sehr kleines Ende auf der einen Seite aus der Röhre hervorragen, während das andere um dieselbe Röhre so gerollt ist, daß es eine gedrängte Spirale bildet, indem man jedoch vermeidet, daß sich die Windungen berühren. Die Röhre wird hernach in ein Probegefäß gestellt, das eine gegebene Menge Wassers enthält. Von dem Augenblicke, wo der Draht mit dem Volta'schen Apparat in Verbindung gesetzt wird, wird alle erzeugte Wärme zur Temperaturerhöhung des Wassers verwandt. Da nun das Gefäß immer dasselbe ist, so wie die Menge Wassers, und da der Versuch die nämliche Zeit dauert, können die Temperaturen zur Vergleichung der entwickelten Wärmemengen dienen, wenn sie nicht große Differenzen zeigen, denn sonst müßte man auch die Wirkungen der Abkühlung in Anschlag bringen; 3) endlich aus einem sehr gutem Thermometer, um die Temperaturen zu beobachten. Joule nahm zu einem Grade die Menge Elektricität, welche fähig ist, in einer Stunde eine bestimmte Anzahl Grane Wassers zu zerlegen. In seinen Versuchen entspricht ein Grad 33°,5 der Abweichung des Multiplikators, welche von einem Strome erzeugt wurde, der fähig ist, hundert Gran Wassers in einer Stunde zu zersetzen.

Wir führen hier die Resultate einiger Versuche an: Zwei Kupferdrähte von einer Länge von ungefähr sechs Fuß (engl. Maß), von denen der eine $^1/_{28}$ Zoll Durchmesser, der andere $^1/_{50}$ hatte, und die so angeordnet waren, wie wir es vorher angegeben haben, wurden in zwei gläserne Probegefäße getaucht, von denen jedes neun Unzen Wasser enthielt. Man ließ eine Stunde lang in jeden Draht einen Strom von einer Intensität = 1° gehen, 1 Q (Q zeigt die Grade an, welche sich auf die zersetzte Wassermenge beziehen).

Die Temperatur des Wassers, worin der feinste Draht getaucht wurde, stieg auf 3°,4 F.; die des Wassers, worin sich der dickste Draht befindet, auf 1°,3 F. Da nun ein vorläufiger Versuch gezeigt hatte, daß drei Fuß des feinen Drahtes dasselbe Leitungsvermögen besitzen, als acht Fuß des dicken Drahtes, so folgt daraus, daß die Widerstände der Drähte im Verhältnisse von 3,4 zu 1,27 ständen, welches genau dasjenige der erzeugten Wärme-Erscheinungen ist. Andere Versuche haben ebenfalls bewiesen, daß die entwickelte Wärmemenge immer dem Widerstande proportional ist, welchen der Draht zeigt, welches auch seine Länge und sein Durchmesser, seine Gestalt oder seine Natur sein möge. Joule bewies außerdem, daß die Erscheinung, welche von einer Intensitätszunahme des Stromes hervorgebracht wird, wie das Quadrat dieser Zunahme wachse, was mit den Gesetzen der Mechanik übereinstimmt. Die Resultate, welche in der folgenden Tabelle aufgezeichnet wurden, lassen in dieser Beziehung keinen Zweifel.

Mittlere Abweichungen der Nadel des Galvanometers.	Mengen der Elektricität in Bewegung, welche in Q Graden ausgedrückt wird.	Mengen der Wärme, die in einer halben Stunde durch die verschiedenen elektrischen Intensitäten der Colonne Nr. 2 hervorgebracht wurden.	Verhältniß der Quadrate der elektrischen Intensitäten d. Colonne Nr. 2.	Wärmemengen, welche in einer Stunde von den verschiedenen elektrischen Intensitäten der Colonne Nr. 2 hervorgebracht wurden.	Verhältniß der Quadrate der elektrischen Intensitäten der Colonne Nr. 2.
16°	0°,43 Q	. . . .	. .	1°,2	1
31 1/2	0 ,92 Q	3°	2,9	4 ,7	4,55
55	2 ,35 Q	19 ,4	18,8	. . .	. .
57 2/3	2 ,61 Q	23	23,2	. . .	. .
58 1/2	2 ,73 Q	25	25,4	39 ,6	39,6

Diese Resultate und andere, welche wir hier nicht mittheilen können, haben ihn in den Stand gesetzt, die Folgerung daraus zu ziehen, daß, wenn ein Volta'scher Strom einen metallischen Leiter durchläuft, die in einer gegebenen Zeit entwickelte Wärme dem Produkte des Widerstandes des Leiters in das Quadrat der elektrischen Intensität proportional ist.

Wir hätten noch von den Gesetzen zu sprechen, nach welchen sich die Wärme richtet, welche während der elektrochemischen Zersetzung der Flüssigkeiten durch Volta'sche Ströme entwickelt wird, aber diese Aufgabe findet natürlicher Weise ihre Stelle, wenn wir die elektrochemischen Zersetzungen im Allgemeinen darlegen werden. Wir haben so eben die bedeutendsten Wärmeerscheinungen, welche von dem Durchgange der Elektricität in den leitenden Körpern entweder im freien oder strömenden Zustande hervorgebracht wurden, so wie die Gesetze, welche bei dieser Erzeugung vorherrschen, durchgegangen. Diese Erscheinungen beweisen die gegenseitige Abhängigkeit zwischen der Wärme und der Elektricität, eine Abhängigkeit, welche sie bei den chemischen Erscheinungen nicht mehr von einander zu trennen gestattet. Man muß demnach die chemischen elektrischen und Wärmeerscheinungen einen gleichen Gang einschlagen lassen, wenn man in ihrem Ganzen die Erscheinungen umfassen will, welche von der Wirkung ähnlicher oder heterogener Partikelchen aufeinander entspringen.

Drittes Kapitel.

Wärmeerscheinungen, welche durch chemische Wirkungen hervorgebracht werden.

Jedesmal wenn zwei Körper chemisch auf einander reagiren, finden Wärmeerscheinungen Statt, die

von der Energie, mit welcher die Verwandtschaften ausgeübt werden, von den Wärmekapacitäten der zusammensetzenden Theile und der Zusammensetzung, vom festen oder flüssigen Zustande dieser letzteren abhängen. Die Aufgabe der Thermochemie ist demnach complicirt, weil es Ursachen gibt, wovon die einen die Temperatur zu erhöhen, die andern sie zu erniedrigen suchen.

Wenn jedoch im Allgemeinen Wärmeentwicklung in den Verbindungen stattfindet, so ist das Reciproke nicht immer wahr, denn es kann ohnedies Wärmeerzeugung im Contakte der festen und liquiden Körpern stattfinden, wie die Capillarwirkungen ein Beispiel davon sind. Es findet jedoch dieser Unterschied Statt, daß in diesem Falle die Erzeugung augenblicklich ist, während sie in dem andern so lange fortfährt, als die Verbindung dauert. Die thermochemische Aufgabe beschäftigte schon lange und beschäftigt noch jetzt eine große Zahl Physiker; sie ist jedoch noch nicht gelöst. Wir führen hier besonders Crawford, Lavoisier, Dalton, Ritter, Dulong, dann Despretz, Heß und Andrews an. Die Resultate, welche Jeder von ihnen erhielt, sind nicht immer übereinstimmend; wir wollen die vorzüglichsten mittheilen, damit der Leser selbst sie vergleichen und sehen könne, welches heutzutage der Stand der Aufgabe ist.

Die Untersuchungen können in zwei Epochen eingetheilt werden. In der ersten hatte man den Zweck, isolirte Thatsachen, in der zweiten Gesetze zu finden. Wir wollen nach einander diese beiden Epochen durchgehen.

Die Aufgabe der Wärmeentwicklung bei den chemischen Wirkungen kann nur dann gelöst werden, wenn man die specifische Wärme der Substanzen kennt, welche dem Versuche unterworfen werden, und nur in so weit, als man mit den Methoden der Experimentirung, welche zu ihrer Bestimmung dienen, vertraut ist.

Alle Ursachen, welche bei dieser Entwicklung thätig sind, konnten dem hohen Scharfsinne Lavoisiers nicht entgehen, welcher in Verbindung mit Laplace eine gründliche Untersuchung über die specifische Wärmen der Körper angestellt hatte. Sie nannten Wärmekapacität oder specifische Wärme die Verhältnisse der Wärmemengen, die nöthig sind, um die Temperatur der Körper bei gleichen Massen um dieselbe Anzahl Grade zu erhöhen.

Crawford wandte zuerst die Mischungsmethode an, welche darin besteht, zwei Substanzen, deren Gewichte und Temperatur man genau kennt und von welchen wenigstens eine tropfbarflüssig sein muß, zu mischen, und die Temperatur des Gemisches zu nehmen, wenn sie überall gleichförmig ist. Indem man außerdem die Gewichte jedes einzelnen, das des Gefäßes und seine specifische Wärme kennt, so ist es leicht, die der beiden Substanzen, indem man eine davon zur Einheit nimmt, zu bestimmen.

Lavoisier und Laplace verwarfen diese Methode, weil sie nach ihnen einer großen Anzahl von Nachtheilen unterworfen ist, welche feine Rechnungen verlangen, um entfernt zu werden; aber wir werden sehen, indem wir alles das, was die Wärmekapacitäten betrifft, vortragen, daß man ohne Schwierigkeit dahin gelangt ist, so daß die Mischungsmethode heutzutage ziemlich allgemein angenommen wird.

Wir führen hier die Methode an, welche sie der Mischungsmethode substituirten. Nehmen wir eine Eismasse von einem beliebigem Grade, welche in eine Atmosphäre gebracht wird, die eine höhere Temperatur als Null hat; alle Theile der Oberfläche dieser Masse entziehen Wärme der Atmosphäre, bis ihre Temperatur auf Null gelangt ist. Alle übergegangene Wärme wird einzig dazu verwandt, die erste Schichte Eis zu schmelzen, woraus Wasser gebildet wird; eine zweite Schichte Eis wird auf dieselbe

Weise geschmolzen, und so fort, bis die Temperatur der Atmosphäre auf Null gekommen ist, welche die des Wassers ist, das von dem geschmolzenen Eise herrührt.

Nehmen wir an, man lege in einer hohlen Kugel einen Körper, der auf einen beliebigen Grad erwärmt ist, in Eis; das Eis wird schmelzen, bis der Körper auf Null gekommen ist; indem man das Wasser sorgfältig sammelt, so wird sein Gewicht genau der Wärme proportional sein, welche der Körper verloren hat, indem er von seiner ursprünglichen Temperatur in die des schmelzenden Eises überging. Das Gewicht dieses Wassers kann demnach dazu dienen, die Wärme zu messen, welche zur Hervorbringung dieser Erscheinung angewandt wurde.

Wenn die Körper, welche dem Versuche unterworfen werden, dasselbe Gewicht haben, so sind die specifischen Wärmen den gesammelten Wassermengen proportional. Im entgegengesetzten Falle ist es, um sie zu erhalten, hinreichend, die Menge des geschmolzenen Eises durch die anfängliche Temperatur des Körpers und durch sein Gewicht zu dividiren; der Quotient drückt die Menge des geschmolzenen Eises, durch die Gewichtseinheit für eine Abkühlung, von 1° aus.

Diese Methode hat den Nachtheil, daß nicht die ganze Quantität geschmolzenen Wassers genau gesammelt werden kann, weil immer eine Schichte davon an der Oberfläche des Eises adhärirt.

Der Apparat, welcher zu diesem Versuche angewandt wird, heißt Calorimeter. Wir halten uns nicht mit seiner Beschreibung auf. Wir wollen zur Anwendung übergehen, welche Lavoisier davon machte, um die Verbindungswärme in mehreren Fällen zu bestimmen. Folgendes sind die Principien, auf welche er sich stützte, und welche jetzt noch allgemein angenommen sind: wenn man mehrere Zusammensetzungen zusammen mischt, welche auf einander so reagiren,

daß sie Zersetzungen und neue Verbindungen hervorbringen, so werden die specifischen Wärmen dieser letztern nicht mehr die nämlichen sein, wie die jener Zusammensetzungen; es können alsdann drei Fälle vorkommen:

Erster Fall. Verbindungen ohne Entwicklung noch Absorption der Wärme. Dieser Fall kann sich zeigen, wenn kein Theil der Wärme vom latenten in freien Zustand und umgekehrt übergeht.

Zweiter Fall. Verbindungen, bei welchen Wärmeentwicklung stattfindet. Dieser Fall findet Statt, wenn zu den Verbindungen weniger latente Wärme kommt, als in den ersten war.

Dritter Fall. Verbindungen, bei welchen Absorption von latenter Wärme stattfindet; in diesem Falle braucht die neue Verbindung mehr Wärme als die erstere; daher wird die Wärme von den umgegebenden Körpern absorbirt, und es tritt Erniedrigung der Temperatur ein.

Bei der einfachen Mischung der Körper bleibt die Menge freier Wärme immer dieselbe. Wenn bei einer Verbindung oder bei irgend einer Veränderung des Zustandes eine Verminderung der freien Wärme stattfindet, so erscheint diese Wärme völlig wieder, wenn die Substanzen in ihren ersten Zustand zurückkehren und umgekehrt. Wenn Vermehrung der freien Wärme stattfindet, so verschwindet diese neue Wärme bei der Rückkehr der Substanzen in den ursprünglichen Zustand wieder. Diese Principien, wir wiederholen es, werden noch angenommen, aber unter dieser Bedingung, daß die Wärmeerscheinungen der Auflösung oder Festwerdung sich mit denen der Verbindung vereinigen.

Wir führen hier die Resultate an, welche Lavoisier erhalten hat:

Eine Eismenge, welche von einem Pfund Mischung geschmolzen wurde:

	Pfd.	Unz.	Quent.	Gran.
Von Schwefelsäure, von einer Dichtheit = 1,87068 mit Wasser in dem Verhältnisse von 4 : 3	0	14	2	62
Von derselben Säure mit Wasser im Verhältnisse von 4 : 5 .	0	12	6	48
Wasser mit ungelöschtem Kalke im Verhältnisse von 9 : 16	1	8	3	60
Von Salpetersäure von einer Dichtheit = 1,29895 mit ungelöschtem Kalk im Verhältnisse von $9\frac{1}{3}$: 3	1	0	2	0

Die Stoffe wurden bei Null genommen und in Gefäße mit derselben Temperatur gelegt und die Verbindungen auf Null zurückgeführt.

Mengen geschmolzenen Eises.

	Pfd.	Unz.	Quent.	Gran.
Bei der Detonation einer Unze Salpeter mit $\frac{1}{3}$ Unze Kohle	0	12	0	0
Bei der Detonation einer Unze Salpeter mit einer Unze Schwefelblumen	2	0	0	0
Bei der Verbrennung einer Unze Phosphor	6	4	0	48
Bei der Verbrennung einer Unze Schwefeläther	4	10	2	36
Bei der Verbrennung einer Unze Kohle	6	2	0	0
Die Verbrennung eines Pfundes Kohle hat geschmolzen . .	96	7	2	0
Die Verbrennung eines Pfundes Wasserstoffgas hat geschmolzen	295	2	9	0

Da nun die nöthige Wärme, um ein Pfund Eis zu schmelzen, die Temperatur von ein Pfund Wasser auf 75° erhöht oder auch 75 Pfund Wasser auf 1°, so folgt daraus, daß die Verbrennung eines Pfundes Kohle nach Lavoisier . . . . 7234°

die eines Pfundes Wasserstoffgas . . . 22139°
entwickelt.

Indem sich Despretz auch des Calorimeters bediente, bestimmte er die Wärmemengen, welche bei der Verbrennung des Wasserstoffgases und des Kohlenstoffes entwickelt wurden. Nach seinen Versuchen entwickelte 1 Gramm Kohle beim Verbrennen 7914° Wärme, d. h. genug um die Temperatur von 7914 Gramm Wasser um einen Grad zu erhöhen; 1 Gramm Wasserstoff entwickelt 23,640°; der Phosphor, die Metalle (das Eisen, das Zink und das Zinn) $^5/_3$ von der Wärme der Kohle. Wenn wir diese Resultate mit denen vergleichen, welche Lavoisier erhielt, so sieht man, daß der letztere bei der Verbrennung eines Pfundes Kohle 7234° Wärme und Despretz bei der eines Grammes Kohle 7914° fand. Bei der Verbrennung eines Pfundes Wasserstoffgas erhielt Lavoisier 22139° und Despretz auf einem Gramm Wasserstoffgas 23640° Wärme.

Bei der Verbrennung des Zinnoxyduls entwickelt sich nach Despretz dieselbe Wärmemenge auf eine gleiche Menge absorbirter Sauerstoff, wie bei der Verbrennung des Zinns. Dulong suchte ebenfalls die Wärme, welche bei mehreren chemischen Wirkungen entwickelt wurde, und nahm wie Despretz die Wärmemenge, welche nöthig ist um 1 Gramm Wasser bei gewöhnlicher Temperatur um einen Grad zu erhöhen, als Einheit an. Ein Litre Wasserstoffgas bei 0° und $0^m,76$ Druck lieferte beim Verbrennen, als Mittel aus fünf Versuchen:

	Einheiten.
Mittel aus fünf Versuchen . .	3106,64
woraus hervorgeht, daß 1 Litre Sauerstoff bei 0° und $0^m,76$ Druck, indem er sich mit dem Wasserstoffgase verbindet, im Mittel entwickelt	6213,28

Einheiten.

Kohlenoxyd.

Man vermischte es mit der Hälfte seines Volumens Wasserstoffgas, um es zu verbrennen:

Wärme von 1 Litre Kohlenoxydgas:

Mittel aus drei Versuchen . . 3130,33

Oelbildendes Gas.

Wärme von 1 Litre Gas.

Mittel aus vier Versuchen . . 15338

Kohle.

1 Litre Kohlendampf:

Mittel aus vier Versuchen . . 7858

Cyan.

1 Litre Cyan:

Mittel aus drei Versuchen . . 1227,33

Schwefel.

Schwefel im Sauerstoff, 1 Gramm:

Mittel aus drei Versuchen . . 2601,17

Eisen.

Wärme, welche von einem verbundenen Litre Sauerstoff erzeugt wurde:

Mittel aus zwei Versuchen . . 6216,5

Zinn.

Wärme, welche durch ein Litre Sauerstoff erzeugt wurde, das sich mit ihm verband:

Mittel aus drei Versuchen . . 6175,33

Zinnoxydul.

Erzeugte Wärme auf 1 Litre verbundenen Sauerstoff:

Mittel aus zwei Versuchen . . 6302,9

Kupfer.

Von einem Litre Sauerstoffgas entwickelte Wärme. Nach den Gewichten:

Mittel aus drei Versuchen . . 3598

Nach den Volumina 3846,33

Kupferoxydul. Einheiten.

Von einem Litre Sauerstoff 3130

Antimon.

Von einem Litre Sauerstoff entwickelte Wärme. Nach den Gewichten:

Mittel aus zwei Versuchen . . 5416,3

Nach den Volumina:

Mittel aus fünf Versuchen . . 553,188

Das Verhältniß des absorbirten Sauerstoffs entspricht der antimonigen Säure.

Zink.

Von 1 Litre Sauerstoff entwickelte Wärme:

Mittel aus drei Versuchen . . 7576,66

Kobalt 5721

Nickel 5333

Dulong, welchem der Tod nicht erlaubte, die letzte Hand an seine Versuche zu legen, hat in seinen Manuscripten eine Note aufgezeichnet, daß wohl ein einfaches Verhältniß zwischen der specifischen Wärme und der Wärmemenge, welche durch eine und dieselbe Absorption des Sauerstoffs beim Verbrennen entwickelt wurde, stattfinden könnte. Wenn wir die Resultate, welche von Despretz und Dulong für den Kohlenstoff und Wasserstoff erhalten wurden, vergleichen, so finden wir große Differenzen. Nach Despretz entwickelt ein Gramm Wasserstoffgas beim Verbrennen 23640° Wärme; nach Dulong entwickelt ein Litre Wasserstoffgas 3106,64 Wärme oder 34786° Wärme auf 1 Gramm; eine Zahl, welche von der vorhergehenden sehr verschieden ist. Bei der Verbrennung eines Gramms Kohle steht die Differenz in dem Verhältnisse von 7914 zu 7163. Neue Versuche sind daher unerläßlich, um die Ansicht der Physiker über die Zahlen festzustellen, welche man annehmen muß, um die bei dem Verbrennen des Kohlenstoffes, des Wasserstoffes und der vorzüglichsten brennbaren Stoffe der Chemie entwickelte Wärme darzustellen.

Die Arbeiten, die wir so eben erklärt haben, hatten nur zum Zwecke, einige besondere Thatsachen aufzufinden, welche sich auf die Wärme beziehen, die bei chemischen Wirkungen entwickelt wird. Heß wollte weiter gehen; er suchte allgemeine Resultate, trotz den Schwierigkeiten, welche ein solcher Gegenstand mit sich führt. Sein Zweck war zuerst, zu finden, ob die Menge entwickelter Wärme sich nach irgend einem Gesetze ändere, wenn das Verhältniß der Elemente die eine Verbindung bilden, sich selbst änderte.

Er wandte zu diesem Zwecke ein Calorimeter aus Kupfer an, das aus einem Gefäß bestand, um Wasser aufzunehmen, und in welchem sich ein Cylinder befand, der an einer Achse befestigt und mit einer auswärts liegenden Kurbel versehen war, so daß man ihm eine rotirende Bewegung geben konnte. Der Cylinder konnte nach Belieben aus dem Gefäße genommen werden, um ein kupfernes oder gläsernes Gefäß hineinzubringen, das zur Aufnahme desjenigen von den beiden liquiden Stoffen bestimmt war, der das geringste Volumen besaß, während sich die andere Flüssigkeit in dem Cylinder befand, welcher außerdem mit allen Nebendingen zum Gutschließen und mit vier Kupferplatten versehen war, die zu Umrührern dienten. Ein Thermometer wurde auf eine passende Weise in das Gefäß gebracht, damit er nicht von dem sich bewegenden Cylinder berührt würde; man notirte die Temperatur des ganzen Apparats, sodann drehte man die Kurbel; das Gefäß, welches eine von den Flüssigkeiten enthielt, wurde in eine schwankende Bewegung gesetzt, die Mischung der liquiden Stoffe ging vor sich und das Thermometer gab die Temperatur des Wassers in dem Gefäße an. Man notirte die Zeit, wo die Temperatur abzunehmen anfing, und Vorkehrungen wurden getroffen, um den Verlust der Wärme nach außen zu vermeiden. Wir fügen hinzu, daß Heß die entwickelte Wärme durch die Wassermenge

anzeigte, welche ein Theil wasserfreier Säure um 1 Centesimalgrad erhöht. Wir geben hier das erste Gesetz das er zu begründen suchte; wenn zwei Substanzen sich in mehreren Verhältnissen verbinden, so sind die Wärmemengen, welche von jeder dieser Verbindungen entwickelt werden, unter sich in einfachen und vielfachen Verhältnissen. Wir führen hier das Resultat eines von den Versuchen an, welche Heß zu Bestimmung der Wärmemenge dienten, die in einer Verbindung von $H^2O + SO^3$ mit H^2O d. h. von einem Mischungsgewicht Schwefelsäurehydrat mit einem Mischungsgewicht Wasser entwickelt wurde. Er fing damit an, seinen Apparat in Beziehung zur Wärmekapacität in Grammen Wasser umzuformen; dieser Apparat, welcher 309 Grammen gleich ist, enthielt außerdem 7500 Gramme Wasser, das gläserne Gefäß wog 100 Gramme. Folgendes sind die Resultate eines seiner Versuche:

		Gramme
Der Apparat voll Wasser		7809,7
Gläsernes Gefäß $100^o \times 0{,}19$		19
(0,19 ist die specifische Wärme des Glases)		
Säure ($H^2O + SO^3$)	266,4	
Wasser	48	
	$314{,}4 \times 0{,}474 =$	149,9
Die ganze Masse	=	7978,6

(0,474 ist die specifische Wärme der Mischung von Wasser und Säure.)

Temperaturzunahme, welche vom Thermometer angegeben wurde . . . . $2^o{,}1$

Wenn man nun zur Einheit die Menge wasserfreier Säure, welche in dem Säurehydrat enthalten ist, annimmt, so hat man für die Menge der entwickelten Wärme

$$\frac{7978{,}6 \times 2^0{,}1}{(H^2O + SO^3) - H^2O} \text{ oder } \frac{7978{,}6 \times 2^0{,}1}{264{,}4 - 48} = 77{,}17$$

Nachdem man diesen Versuch mehreremale wiederholte und das Mischungsgewicht der absorbirten Wassermengen veränderte, erhielt man folgende Resultate:

Verbindungen	Entwickelte Wärme
$SO^3 + H^2O$	310,4 . . . 8
$(SO^3 + H^2O) + H^2O$ . .	77,86 . . . 2
$(SO^3 + 2H^2O) + H^2O$ . .	38,9 . . . 1
$(SO^3 + 3H^2O) + 3H^2O$ . .	38,9 . . . 1
$(SO^3 + 6H^2O) + x\,H^2O$ . .	38,9 . . . 1

Die in dieser Tabelle aufgezeichneten Resultate zeigen uns demnach, daß die Wärmemengen, welche bei den Verbindungen der Schwefelsäure und Wasser entwickelt wurden, unter sich in einem einfachen und vielfachen Verhältnisse stehen. Wenn man jetzt nach einander zuerst alle Zahlen, welche die entwickelte Wärme ausdrücken, dann die vier letzteren u. s. f. addirt, so hat man die Wärmemengen, welche bei einer Mischung von Wasser im Ueberschuß mit den Säuren hervorgebracht wurden.

Verbindungen.	Entwickelte Wärme.
SO^3	504,96
$SO^3 + H^2O$	194,5
$SO^3 + 2H^2O$	116,7
$SO^3 + 3H^2O$	77,8
$SO^3 + 6H^2O$	38,9

Man sieht hier noch die vielfachen Verhältnisse für die entwickelten Wärmemengen; es wäre zu wünschen, daß mannigfaltigere und zahlreichere Versuche die Richtigkeit dieses Gesetzes bestätigten.

Heß suchte vermittelst der nämlichen Experimentirweise die Wahrheit zu begründen, daß in einer Verbindung die entwickelte Wärmemenge immer constant ist, die Verbindung mag direkt, oder indirekt vor sich gehen. Dieses Gesetz entspringt in der That aus den Resultaten, welche wir in den folgenden Tabellen aufgezeichnet haben, und die auf die vorher

angegebene Weise erhalten wurden, indem man Schwefelsäure einerseits mit Kali, andrerseits mit Ammoniak verband.

Säure	Entwickelte Wärmemenge durch Ammoniak	durch Wasser	Summe
$SO^3 + H^2O$	595,8	—	595,8
$SO^3 + 2H^2O$	518,9	77,8	596,7
$SO^3 + 3H^2O$	480,5	116,7	597,2
$SO^3 + 6H^2O$	446,2	155,6	601,0
		Mittel	597,0

Säure	Entwickelte Wärmemenge durch Kali	durch Wasser	Summe
$SO^3 + H^2O$	597,2	—	597,2
$SO^3 + 2H^2O$	527,1	77,8	604,9
$SO^3 + 3H^2O$	483,4	116,7	600,1
$SO^3 + 6H^2O$	445,4	155,6	601,0
		Mittel	601,0

Die Resultate, welche wir in diesen Tabellen aufgezeichnet haben, beweisen augenscheinlich das fragliche Gesetz. Die Wärme, welche in der Verbindung von $SO^3 + H^2O$ mit Ammoniak entwickelt wurde, ist $= 595{,}8$; in der von $SO^3 + 2H^2O$ mit Ammoniak ist sie $= 518{,}94$; wenn man nun zu dieser letztern Zahl die entwickelte Wärme von $SO^2 + H^2O$ addirt, so hat man 596,7, welches von 595,8 wenig verschieden ist; ebenso wenn man zu der entwickelten Wärme in der Verbindung von $SO^3 + 3H^2O$ mit Ammoniak 116,7 addirt, welches die entwickelte Wärme von $SO^3 + 2H^2O$ ist, indem man das Wasser im Ueberschuß mischt, so hat man 597,2 u. s. w. Wenn man demnach die Verbindung eines Mischungsgewichtes Base mit einem Mischungsgewicht wasserfreier Säure, die sie zu neutralisiren fähig ist, bewirkt, und dieselbe Menge Basis mit demselben Mischungsgewicht Säure, die um ein Mischungsgewicht Wasser

verdünnt ist, so ist die entwickelte Wärmemenge im ersten Falle der gleich, die im zweiten Falle hervorgebracht wurde, plus der Menge, welche durch die Verbindung der wasserfreien Säure mit der Wassermenge erhalten wurde.

In den beiden letzten Tafeln sehen wir, daß das Kali, das Ammoniak in ihren Verbindungen mit der Schwefelsäure merklich dieselben Wärmemengen gegeben haben. Dasselbe fand bei dem Natron Statt. Heß hat noch andere Bestimmungen angegeben, welche wir wegen ihres Interesses sogleich angeben wollen.

Dulong fand, daß ein Gramm Schwefel, indem er in Sauerstoff verbrannte, im Mittel 2601 Wärmeeinheiten lieferte; Heß, welcher diesen Versuch wiederholte, fand als Mittel aus drei Resultaten 2571, welches wenigstens um 30° von der Bestimmung Dulongs differirt, d. h. ungefähr um $^1/_{96}$. Die Wärme, welche von der Salpetersäure und Wasser entwickelt wurde, indem man Salpetersäure $H^2O + N^2O^5$ mit einem Ueberschusse von Wasser mischte, lieferte:

Als Mittel aus zwei Versuchen . 193,8

Aus anderen Säurehydraten erhielt er:

$2H^2O + N^2O^5$	158
$3H^2O + N^2O^5$	14,2
$2H^2O + N^2O^5$	73,3
$6H^2O + N^2O^5$	56,8
$8H^2O + N^2O^5$	37,28

Diese Resultate zeigen, daß $H^2O + N^2O^5$ mit einem Ueberschuß von Wasser ebenso viel Wärme wie die Schwefelsäure $H^2O + SO^2$ entwickelt, indem man jedoch bemerkt, daß die streng erforderlichen Wassermengen verschieden sind, denn bei der Salpetersäure entwickelt das zweite Atom Wasser nur ein Aequivalent Wärme; das dritte 1; das vierte, fünfte und sechste jedes $^1/_2$; das siebente und achte $^1/_2$. Wir wollen sehen, was Heß unter einem Aequivalent oder Wärmeeinheit versteht. Man hat gesehen, daß,

wenn sich die Schwefelsäure, welche, wie es die Formeln angeben, zusammengesetzt ist, mit der bezeichneten Anzahl Atome Wasser verbindet, das Verhältniß der entwickelten Wärmemengen durch die Zahlen 8, 2, 1,1,1 ausgedrückt wird. Er ist davon ausgegangen, um anzunehmen, daß das dritte Atom des hinzugefügten Wassers eine Wärmeeinheit = 38,9, oder nach neuen Versuchen vielmehr 38,85 entwickelt: ein Werth, den er so ansah, als müsse er gleichfalls der Salpetersäure gehören; er hat folgende berechnete Mengen erhalten:

			mit Ueberschuß	gefunden
$H^2O + N^2O^5$	38,85	$H^2O + N^2O^5$	194,25	193,8
$2H^2O + N^2O^5$	38,85	$2H^2O + N^2O^5$	155,40	158,0
$3H^2O + N^2O^5$	38,85	$3H^2O + N^2O^5$	116,55	114,2
$5H^2O + N^2O^5$	19,42	$5H^2O + N^2O^5$	77,68	73,3
$8H^2O + N^2O^5$	38,85	$8H^2O + N^2O^5$	38,85	37,18

Heß fing an, sich mit einer Aufgabe zu beschäftigen, die für die molekulare Physik von großer Wichtigkeit ist: nämlich mit der, welche sich auf die Verhältnisse bezieht, die zwischen der entwickelten Wärmemenge bei einer Verbindung und der specifischen Wärme der Körper stattfinden können: Verhältnisse, die gleichfalls die Aufmerksamkeit Dulongs auf sich gezogen hatten. Die erhaltenen Resultate sind jedoch von zu geringer Anzahl, als daß man schon ein Gesetz darauf gründen könnte.

Andrews gab eine Arbeit über diese Aufgabe heraus, die uns beschäftigt, und gab sich besonders mit der Verbindung der Säuren und mit den Basen ab, indem er unter solchen Umständen operirte, daß die Temperaturveränderungen bloß als ein Resultat der Verbindung angesehen werden konnten. Um sich von der Wärme zu befreien, welche dadurch erzeugt wird, daß man gewisse Basen und Säuren mit Wasser verdünnt, operirte er mit sehr verdünnten Lösungen in gläsernen Gefäßen, deren Gewicht man kannte, und indem er eine Auflösung der Basis und die einer

Säure nahm, die mehr als hinreichend war, sie zu neutralisiren, so bewerkstelligte er die Mischung in dem Gefäße, welches die Base oder das Alkali enthielt, wenn alles dieselbe Temperatur hatte, und deren Veränderungen mit einem sehr empfindlichen Thermometer beobachtet wurden. Der Versuch wurde zuerst in einem Cylinder von sehr dünnem Messing angestellt, damit seine Temperatur überall ganz gleich sei. Das Gefäß wog 6,63 Gr., welches 0,623 Gr. Wasser zeigte, indem er die specifische Wärme des Kupfers = 0,094 annahm. Andrews bestimmte ebenfalls das Gewicht des Wassers, welches dem Quecksilber des Thermometers und dem Theil des in die Flüssigkeit getauchten Glases gleich kam, und fand im Mittel 0,47 Gr. Das kupferne Gefäß und das Thermometer waren nun gleich 0,093 Gr. Er hatte ebenfalls auf die Wärme Rücksicht genommen, die durch Abkühlung des Gefäßes in der umgebenden Luft verloren gegangen war, und experimentirte so, daß er diese Ursache zu einem Fehler vernachläßigen konnte. Diese Bedingung wurde dadurch erfüllt, daß man es so einrichtete, daß die Dauer des Versuchs nicht eine Minute überschreite, und daß die Temperaturerhöhung, welche aus der chemischen Wirkung entspringt, ungefähr um 1° die umgebende Temperatur übersteigt. Die concentrirteste Salpetersäure, die er anwandte, enthielt 13,3 Proc. wirkliche Säure, wovon ein Theil, der mit neun Theilen Wasser verdünnt wurde, nicht die geringste Spur von Wärme auf dem empfindlichsten Thermometer gab; es verhielt sich ebenso mit der alkalinischen Auflösung, die nur 1,3 Proc. wirkliches Alkali enthielt.

Wir führen die Resultate von vier Versuchen an, in denen man die Proportionen der gemischten Substanzen in den Verhältnissen der Zahlen 1, 2, 4 änderte.

Erster Versuch.

Kalilösung	27,30 Gr.	enthielten	0,0882 wirkliches Kali
Säurelösung . . .	2,83 „	—	0,106 wirkl. Säure
Gefäß u. Thermometer	1,09 „		
Summe .	31,22 Gr. Wasser.		

Temperatur der umgebenden Luft .	3°,30	Centigrad
— der Säure	3 ,44	„
Alkalilösung	2 ,78	„
Mittlere Temperatur vor der Mischung .		2°,84
— — nach — — .		3 ,75
Zunahme der Temperatur		0 ,91

In einem ganz ähnlichen Versuche war die Temperaturzunahme der Mischung 0°,89.

In einem zweiten Versuche, wo die gemischten Substanzen doppelt waren, war die Temperaturzunahme nach der Mischung 1°,79; in dem dritten Versuche, wo diese Mengen das Vierfache waren, war die Temperaturzunahme 3°,33. Indem man diese Resultate auf diejenigen reduzirt, welche man erhalten hätte, wenn man 0,353 Gr. Alkali und 30 Gr. Wasser genommen hätte, so würde man bekommen haben:

1ter	2ter	3ter	4ter	Mittel
3°,79	3°,72	3°,71	3°,81	3°,75

Andere Versuche wurden in einem gläsernen Gefäße mit 30 Gr. Wasser und 0,353 Gr. Kali und der Salpetersäure angestellt; sechs Versuche gaben als Mittel 3°,23. Dieses Resultat ist von dem vorhergehenden um 0°,52 verschieden.

Wenn man mit einer im Wasser unlöslichen Base operirt, so muß man, da die Wirkung der Säure langsamer vor sich geht, auf die Abkühlung der Flüssigkeit während der verlängerten Dauer der Versuche Rücksicht nehmen. Nachdem man alle diese Vorkehrungen berücksichtigte, erhielt man die folgenden Resultate:

1) Kali, wirkliche Menge, Kali 0,353 Gr.

Säuren.	Temperaturerhöhung beobachtet	Temperaturerhöhung korrigirt	Differenz im Verhältniß zum mittleren Werth.
Schwefelsäure .	3°,5	4°,07	+ 0°,45
Salpetersäure .	3 ,22	3 ,76	+ 0 ,14
Phosphorsäure .	3 ,17	3 ,67	+ 0 ,05
Arsensäure . .	3 ,17	3 ,67	+ 0 ,05
Salzsäure . .	3 ,14	3 ,64	+ 0 ,02
Jodwasserstoffsäure	3 ,22	3 ,75	+ 0 ,13
Borsäure . . .	3 ,11	3 ,61	— 0 ,01
Chromsäure . .	3 ,08	3 ,59	— 0 ,03
Oxalsäure . .	3 ,17	3 ,67	+ 0 ,05
Essigsäure . .	3 ,06	3 ,55	— 0 ,07
Ameisensäure .	3 ,06	3 ,55	— 0 ,07
Weinsteinsäure .	2 ,92	3 ,39	— 0 ,23
Citronensäure .	2 ,92	3 ,39	— 0 ,23
Bernsteinsäure .	2 ,92	3 ,39	— 0 ,23
Mittel	. . . . .	3°,62	

2 Gr. Baryt, wirkliche Menge des Baryts 0,572 Gr.

Säuren.	Temperaturerhöhung beobachtet	Temperaturerhöhung korrigirt	Differenz im Verhältniß zur mittleren Wärme.
Salpetersäure .	3°,28	3°,81	+ 0°,06
Salzsäure . .	3 ,25	3 ,77	+ 0 ,00
Jodwasserstoffsäure	3 ,33	3 ,87	+ 0 ,12
Essigsäure . .	3 ,06	3 ,55	— 0 ,20
Mittel	. . . .	3°,75	

Das Natron in wirklicher Menge von 0,234 Gr., das sich mit denselben Säuren verbindet, welche in der Kalitabelle angegeben sind, lieferte als Mittel für die korrigirte Temperaturerhöhung 3°,60.

Ammoniak, dessen Lösung 0,129 Gr. wirkliches Alkali enthielt, gab 3°,07.

Was die unlöslichen oder wenig löslichen Basen

anbelangt, so wurden sie im wasserfreien Zustande angewandt.

0,154 Gr. Magnesia lieferte mit Schwefel-, Salpeter- und Salzsäure einen mittleren Werth für die korrigirte Temperaturerhöhung von 4°,58.

0,213 Gr. Kalk gab mit Salpeter-, Salz- und Essigsäure als Mittel 3°,94.

0,301 Gr. Zinkoxyd gab mit Schwefel-, Salpeter-, Salz- und Jodwasserstoffsäure als Mittel 2°,73.

Endlich gab 0,834 Gr. Bleioxyd mit Salpeter- und Essigsäure 2°,21.

Andrews glaubte aus seinen Versuchen folgende Folgerungen, die er zu Gesetzen erhob, ziehen zu müssen.

Erstes Gesetz.

„Die Wärmemenge, welche während der Vereinigung der Säuren mit den Basen entwickelt wurde, hängt von der Base und nicht von der Säure ab; denn dieselbe Base, welche sich mit einem Aequivalente von verschiedenen Säuren verbindet, liefert beinahe dieselbe Wärmemenge; während die verschiedenen Basen, welche sich mit derselben Säure verbinden, verschiedene Mengen erzeugen."

Zweites Gesetz.

„Wenn sich ein neutrales Salz in ein saures verwandelt, indem es sich mit einem oder mehreren Aequivalenten Säure verbindet, so findet keine Temperaturveränderung Statt."

Drittes Gesetz.

„Wenn sich ein neutrales Salz in ein basisches verwandelt, indem es sich mit einem hinzukommenden Theile Basis verbindet, so ist die Verbindung mit einer Wärmeentwicklung begleitet."

Wir machen im Vorbeigehen bemerkbar, daß die Schwefelsäure diejenige ist, welche die meiste Wärme mit den Basen entwickelt.

Das erste Gesetz, welches wir so eben angegeben haben und welches das wichtigste ist, findet jedoch nicht ohne Ausnahme Statt, denn das Quecksilbersuperoxyd, das die nämliche Wärmemenge mit der Salpeter- und Essigsäure entwickelt, verhält sich nicht eben so in Beziehung auf die Wasserstoffsäure, wie man aus der folgenden Tabelle ersehen kann.

Quecksilbersuperoxyd; Menge der angewandten Basis, 0,810 Gr.

Säuren.	Beobachteter Temperaturgewinn.	Dauer des Versuchs.	Korrektion, welche sich auf die Zeit bezieht.	Korrigirter Werth od. Temperaturgewinn.
Salpetersäure .	0°,67	2	0°,03	0°,71
Essigsäure . .	0 ,67	2	0 ,03	0 ,71
Salzsäure . .	2 ,11	2	0 ,14	2 ,58
Cyanwasserstoffsäu	3 ,25	2	0 ,14	3 ,94
Jodwasserstoffsaure	5 ,11	2	0 ,33	6 ,33

Die Cyanwasserstoffsäure macht ebenfalls eine Ausnahme von dem Gesetze, denn mit dem Kali, Natron, Baryt und Ammoniak entwickelt sie beinahe 3° weniger Wärme als die andern Säuren.

Wir geben hier einen von den Fällen an, in welchen Andrews keine Wärme fand, wenn sich ein neutrales Salz in ein saures Salz verwandelte.

23 Gr. einer kaustischen Kalilösung, die 0,353 Gr. Alkali enthalten, wurden mit 7 Gr. einer Oxalsäurelösung gemischt, welche 0,271 Gr. wirkliche Säure enthielt. Die Temperatur stieg nach der Mischung auf 3°,17.

31 Gr. neutrale oxalsaure Kalilösung, welche 0,624 Gr. Salz enthielten, die mit 9 Gr. einer Oxalsäurelösung gemischt waren, die 0,271 Gr. wirkliche Säure enthielt, gaben keine merkbare Wärmeentwicklung. Was das dritte Gesetz anbetrifft, so wurde

es bestätigt, indem man die Phosphate, Arseniate neutrale Alkalisalze in Unter-Phosphate und Unter-Arseniate verwandelte.

Wir verfolgen die Prüfung der Arbeit Andrews nicht weiter, und machen bloß darauf aufmerksam, daß die Gesetze, welche gefunden wurden, obgleich sie manchmal beträchtliche Unterschiede zeigen, sich doch in einer gewissen Zahl von Fällen bestätigen. Es könnte dem ungeachtet vorkommen, daß man, wenn man mit den Versuchen abwechselt und sich vor allen Ursachen zu Irrthümern in Acht nimmt, dahin gelangen könnte, leichte Differenzen bei den Zahlen zu finden, welche man für die erzeugte Wärmemenge bei den Verbindungen der Basen mit den Säuren erhalten hat, so daß man Kategorien begründen könnte, welche den vorhergehenden Gesetzen ihre Allgemeinheit benehmen würden.

Eine Aufgabe stellt sich hier dar; sie bezieht sich auf den elektrischen Ursprung, welchen man der Wärme zuschreiben muß, die durch chemische Wirkung entwickelt wurde. Die Beziehungen sind zwischen den beiden Agentien so, daß man sie in allen Umständen suchen muß.

Joule beschäftigte sich damit, indem er auf den Ursprung der Wärme beim Verbrennen zurückzugehen versuchte, und bediente sich deßwegen eines besonderen Calorimeters. Wir führen hier die Resultate an, welche ihm die Wärme lieferte, die beim Verbrennen des Zinks, Eisens, Kaliums und Wasserstoff's entwickelt wurde.

Die Wärme, welche bei Verbrennung von 32,3 Gran (engl. Gew.) Zink entwickelt wurde, kann die Temperatur eines Pfundes Wasser um 10°,8 Fahrenheit erhöhen.

28 Gran Eisen erhöhten beim Verbrennen die Temperatur eines Pfundes Wasser um 9°,48 F.

Die Wärme, welche während der Verwandlung von

4° Gran Kalium in Kali entwickelt wurde, erhöhte die Temperatur eines Pfundes Wasser um 19°,6 F.

Ein Gran Wasserstoffgas entwickelt beim Verbrennen Wärme genug, um die Temperatur eines Pfundes Wasser auf 8°,36 F. zu erhöhen.

Joule begründete auf diese Weise folgende Verhältnisse zwischen diesen Resultaten und denjenigen, welche sich auf den Widerstand beziehen, den die Körper zeigen, wenn sie einen Durchgang der Elektricität gestatten. Durch weitere Versuche hat er gezeigt, daß die Intensitäten der Verwandtschaften, welche den Sauerstoff mit dem Zink, Eisen, Kalium, Wasserstoffgase vereinigen, sich wie die Zahlen 1,32, 1,18, 2,05 und 1 verhalten. Da nun die proportionalen Wärmemengen, welche von der Verbrennung der Aequivalente dieser Körper erzeugt werden nach den Versuchen des englischen Physikers 10°,8; 9°,48; 17°,6 und 8°,36 sind oder auch wie 1,29, 1,13; 2,105 und 1 sind, Verhältnisse, die sehr wenig von den vorhergehenden differiren, so schloß er daraus, daß die Wärmemenge, welche durch Verbrennung der Körper entwickelt wurde, den Intensitäten ihrer Verwandtschaft zum Sauerstoff proportional sei. Auf der anderen Seite begründete Joule bei andern Versuchen, die wir nicht mittheilen können, daß dieses Gesetz noch bei einem Volta'schen Strome stattfinde, dessen Wirkung Wärme entwickelt, welche durch den Widerstand für das Leitungsvermögen hervorgebracht wird; in Folge dieser Vergleichung betrachtete er die Wärme der Verbrennung, als habe sie denselben Ursprung. Um einen neuen Beweis zu Gunsten seiner Ansicht hinzuzufügen, leitete er aus den Wärmemengen, welche durch die Bewegung eines Stromes in einem Metalldrahte von bekanntem Widerstande erzeugt wurden, diejenigen ab, welche nach der Theorie des Widerstands für die elektrische Leitungsfähigkeit durch Verbrennung der Körper erzeugt wurde.

Joule fand nun durch den Versuch, wie man vorher anführte, daß die Wärmemengen, welche durch die Verbrennung der Aequivalente der Körper entwickelt werden, nach den Ansichten in Betreff des Widerstandes des elektrischen Leitungsvermögens, proportional den Intensitäten ihrer Verwandschaft zum Sauerstoff sein müssen. Diese Intensitäten verhalten sich wie die Zahlen 1,32, 1,18, 2,05 und 1 für das Zink, Eisen, Kalium und den Wasserstoff. Es folgt daraus, daß man für die Wärmemengen, welche bei der Verbrennung von 32,3 Gran Zink, 28 Gran Eisen, 40 Gran Kalium und 1 Gran Wasserstoff 13°,83, 12°,36, 21°,47 und 10°47 haben wird. Wenn man diese theoretischen Resultate mit den vorher angegebenen vergleicht, so sieht man, daß die ersten diese um $\frac{1}{4}$ übersteigen. Joule meint, daß diese Differenz es nicht verhindere, die Resultate des Versuchs mit denen des Calküls als übereinstimmend anzusehen, und dies wegen der Schwierigkeit, die Wärmeverluste bei der Versuchsart, die er anwandte, zu vermeiden. Er sieht es demnach als bewiesen an, daß die bei der Verbrennung entwickelte Wärme, deren Resultat die Bildung eines Elektrolyten ist, durch den Widerstand erzeugt wird, welchen die Elektricität erleidet, indem sie vom Sauerstoff in den brennbaren Körper im Augenblicke der Verbindung übergeht. Es ist zu wünschen, daß das Gesetz, welches Joule gefunden hat, sich in einer größeren Anzahl von Beispielen als die, welche er wählte, so wie in allen chemischen Wirkungen bestätigt. Wir werden überdies auf diese Aufgabe zurückkommen, wenn wir von den physischen Erscheinungen, welche die chemischen Zersetzungen begleiten, sprechen.

Wenn neue Versuche dieses Gesetz unterstützen so würden die Ansichten Davy's und Berzelius über, die Verhältnisse, welche zwischen der Wärme und der Elektricität stattfinden, noch durch neue Thatsachen

unterstützt, und es würde alsdann sehr schwer sein nicht anzunehmen, daß die Wärme, welche bei der Reaktion zweier Körper aufeinander entwickelt wurde, nicht von dem Widerstand erzeugt würde, welchen die beiden Fluida beim Durchströmen dieser beiden Körper, um sich wieder zu vereinigen, erleiden.

Von der Wärmeentwicklung bei molekularen Wirkungen.

Jeder feste Körper entwickelt in dem Augenblick, wo er von einer Flüssigkeit naß wird, Wärme; diese Thatsache ist sehr wichtig wegen der Analogie mit der Erscheinung, welche erzeugt wird, wenn die Affinitäten ihre Wirkung ausüben. Pouillet, der sich viel mit dieser Aufgabe beschäftigte, hat eine Reihe von Versuchen angestellt, von denen wir die Hauptresultate mittheilen wollen.

Um die Erscheinungen der Wärme in dem Augenblicke merklich zu machen, wo ein fester Körper naß wird, wenn die Capillarität allein ihre Wirkung ausübt, müssen die Substanzen entweder in Pulver verwandelt werden, um die Berührungspunkte mit dem festen Körper und den liquiden zu vermehren. Man findet große Differenzen in den Resultaten, je nach der Natur der Substanzen; in einigen Fällen steigt die Temperatur bis zu 10^{o}, während in anderen, welche die häufigsten sind, sie nur $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ Grad steigt. Die Versuche wurden mit gewöhnlichen Thermometern angestellt; man sieht ein, daß es vortheilhafter gewesen wäre, sich thermo-elektrischer Apparate zu bedienen, welche die Wärmeerscheinungen im Augenblicke, wo sie entstehen, angeben, und ehe die Luft und die umgebenden Körper einen Theil davon absorbirt haben. Wir wollen uns über die Hervorbringung dieses Phänomens wegen ihres Zusammenhangs mit der Capillarität etwas weitläufiger auslassen.

Um diesen Thermometern eine größere Empfindlichkeit zu geben, wandte Pouillet einen an, dessen Behälter 4 bis 5 Centimeter Länge und 1—2 Centimeter Durchmesser betrug. Der Stab hatte 3 oder 4 Decimeter Länge, und der innere Durchmesser war so fein, daß man die Quecksilbersäule mit Mühe wahrnahm, um sie gut zu sehen, brachte er zwischen ihr und dem Glase einen weißen durchscheinenden Körper an, auf welchem sie sich projicirte. Indem er die Substanzen zu Pulver reduzirte, so vermehrte er nicht allein die Vermehrung der Berührungspunkte der Substanzen mit der Flüssigkeit, sondern begünstigte auch die capillare Wirkung und folglich die Wärmeentwicklung. Man muß sich, ehe man anfängt, überzeugen, daß die festen oder die flüssigen Körper, so wie die Gefäße genau dieselbe Temperatur haben. Man erfüllt diese Bedingung, indem man an Orten experimentirt, wo diese sich wenig verändert, z. B. in einem Keller von 7 bis 8 Meter unter dem Boden, und indem man darauf aufmerksam ist, die Körper eine hinreichende Zeitlang daselbst zu lassen, damit sie die Temperatur des umgebenden Mittels annehmen können; sie müssen ferner sehr trocken sein, denn wenn sie schon mit einer leichten Schichte hygrometrischen Wassers bedeckt wären, so würde die Wirkung Null sein. Man muß außerdem die Reibung des Thermometers an dem Pulver vermeiden, woraus nothwendigerweise Wärme entstände. Indem man so operirt, so bemerkt man, daß der Thermometer 3 bis 4 Minuten lang steigt, dann langsam wieder sinkt, um auf die gewöhnliche Temperatur zu kommen.

Wenn man die beträchtliche Masse des Quecksilbercylinders bedenkt, die man zu erwärmen hat, um Wärmeerscheinungen zu beobachten, welche die Capillarwirkungen verursachen, so begreift man leicht die Vortheile, welche man daraus erhalten würde, wenn man dem Thermometer eine gemischte Nadel

aus Kupfer und Eisen substituirte, die mit einem Multiplikator in Verbindung steht und mit Gummilack bedeckt ist, um die chemische Wirkung der Flüssigkeit auf jenes Metall zu vermeiden, und indem man die Verbindungspunkte in das Gefäß bringt, wo man operirt. Die Körper, die bis jetzt dem Versuche unterworfen wurden, sind Eisen, Wismuth, Antimon und die Metalle, welche leicht in feine Feilspäne reduzirt werden konnten; die Erden, Metalloxyde, das Glas, das Steingut, Porzellan und der Thon. Die Flüssigkeiten, welche zum Benetzen dieser Körper angewandt werden, sind destillirtes Wasser, Oel, Alkohol, Essigäther und Terpentingeist. Man findet zuerst, daß die Temperaturerhöhung beinahe dieselbe beim größten Theile der festen Körper mit der nämlichen Flüssigkeit und bei demselben festen Körper für verschiedene liquide Körper ist. Die schwächsten Temperaturerhöhungen sind $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4}$ Grad, und die stärksten sind beinahe $\frac{1}{2}$ Grad; mit Oel ist die Erscheinung etwas geringer, als bei Wasser, Alkohol und Aether.

Es findet ebenfalls Wärmeerzeugung durch Absorption Statt. Wenn man irgend ein trockenes und auf Fragmente reduzirtes organisches Gewebe nimmt, und dasselbe in Wasser wirft, so steigt das Thermometer merkbar; wenn das Gewebe sehr trocken ist, so beträgt die Temperaturerhöhung mehrere Grade. Man hat unter den vegetabilischen Stoffen nach einander die Kohle, das Stärkemehl, die Rinden u. s. w., unter den animalischen Stoffen die Seide, die Wolle, den Schwamm, die Haare, die Häute dem Versuche unterworfen; die Temperaturerhöhung war nie unter 1 Gr. Bei dem Stärkemehl, der Wurzel des Süßholzes und der sehr dünnen Eingeweide des Hammels hat man nie weniger als 10 Gr. beobachtet. Ohne von der unmittelbaren Ursache der Erscheinung zu sprechen, beschränken wir uns darauf, ihr Dasein zu bestätigen. Die folgende Tabelle gibt die erhaltenen Resultate an:

Tabelle der Wärmeentwicklung durch unorganische Stoffe.

Namen der Stoffe.	Temperaturerhöhung in Centesimalgraden des Thermometers, wenn die Substanzen benetzt wurden von			
	Wasser.	Oel.	Alkohol.	Essigäther.
	Grade	Grade	Grade	Grade
Glas . .	0,258	0,261	0,232	0,277
Eisen . .	0,215	0,190	0,229	0,330
Kupfer . .	0,195	0,183	0,141	0,304
Zink . .	0,234	0,208	0,250	0,231
Wismuth . .	0,230	0 220	0,246	0,193
Antimon . .	0,221	0,225	0,308	0,286
Zinn . .	0,310	0,254	0,329	0,219
Porzellan . .	0,549	0,493	0,530	0,474
Steingut . .	0,572	0,480	0,322	0,458
Thon . .	0,940	0,912	0,867	0,780
Kiesel . .	0,350	0,179	0,248	0,417
Alaun . .	0,204	0,187	0,217	0,341
Magnesia . .	0,212	0,148	0,208	0,229
Eisenoxyd . .	0,286	0,215	0,300	0,424
Mangansuperoxyd	0,307	0,236	0,341	0,430
Zinkoxyd . .	0,198	0,166	0,211	0,271
Kupferoxyd .	0,221	0,219	0,195	0,268
Glätte . .	0,241	0,263	0,232	0,452
Chromoxyd .	0,160	0,153	0,219	0,318
Schwefel .	. . . . .	. .	0,173	0,216

Wir sehen aus diesen Resultaten, daß die Temperaturerhöhung beinahe die nämliche für die verschiedenen festen Körper mit demselben liquiden Körper sind, und daß es sich häufig ebenso für denselben festen Körper mit verschiedenen Flüssigkeiten verhalte.

Umstehende Tabelle zeigt uns in ihren Resultaten, daß die organischen Substanzen mehr Wärme entwickeln, wenn sie mit Flüssigkeit befeuchtet werden, als die, welche es nicht sind, und daß kein Verhältniß zwischen den Wärmemengen, welche von derselben Substanz und den verschiedenen liquiden Körpern hervorgebracht wurden, stattfinde.

Namen der Substanzen.	Tmperaturerhöhung, wenn diese absorbiren			
	Wasser.	Oel.	Alkohol.	Essigäther.
	Grade	Grade	Grade	Grade
Kohle . .	1,16	0,96	1,27	1,41
Stärkemehl .	9,70	3,52	4,77	6,18
Sägespäne .	2,17	2,80	3,20	2,52
Steinbrechwurzel	5,40	4,27	5,98	6,37
Pareiabravawurzel	5,23	3,38	4,06	5,88
Süßholzwurzel	10,20	4,19	7,17	6,54
Baldrianwurzel	4,26	3,84	4,66	4,10
Schlangenwurzel	5,72	3,13	6,07	6'43
Iriswurzel .	6,12	4,00	3,75	6,48
Weizenmehl .	2,72	1,19	3,40	4,10
Türk. Weizenmehl	2,32	1,22	3,32	3,72
Gerstenmehl .	2,22	1,15	2,87	3,83
Roggenmehl .	2,55	1,43	2,92	4,50
Hafermehl .	2,42	0,91	2,75	4,32
Leinmehl . .	2,07	„	1,73	3,48
Maiskörner .	1,10	„	2,00	2,36
Gerstenkörner .	1,12	„	1,82	„
Roggenkörner	1,62	„	1,60	„
Grieskörner .	2,13	„	2,44	„
Haferkörner .	1,19	„	1,56	„
Glanzgraskörner	1,15	„	1,29	„
Mohnkörner .	1,27	„	1,11	1,39
Hirsekörner .	0,94	„	1,26	0,84
Rübenkörner .	1,10	„	1,28	0'94
Baumwolle .	0,97	1,25	0,83	1,67
Faden . .	2,11	1,17	2,78	3,18
Gewöhnl. Papier	1,45	„	„	„
Ausgetrocknetes	4,52	2,12	3,60	„
Haare . .	2,06	2,31	1,28	3,45
Wolle . .	3,17	3,38	2,54	3,12
Elfenbein . .	3,14	2,18	1,49	„
Wallfisch . .	2,86	2,15	1,60	3,25
Neues Leder .	2,43	„	2,41	„
Etwas verkohltes Leder . .	4,37	„	„	„
Schwamm .	1,90	„	„	„
Schweinsblase	2,40	1,84	2,58	3,60
Ochsensehnen	3,16	1,17	3,31	3,24
Sehr dünne Membrane der Eingeweidhäute des Hammels .	9,.63	„	10,12	8,38

Pl. 6.

g. 5.

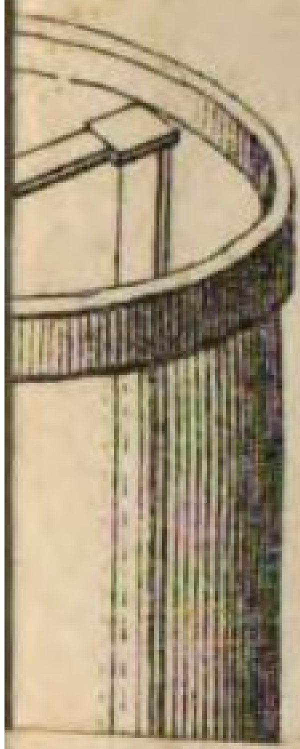
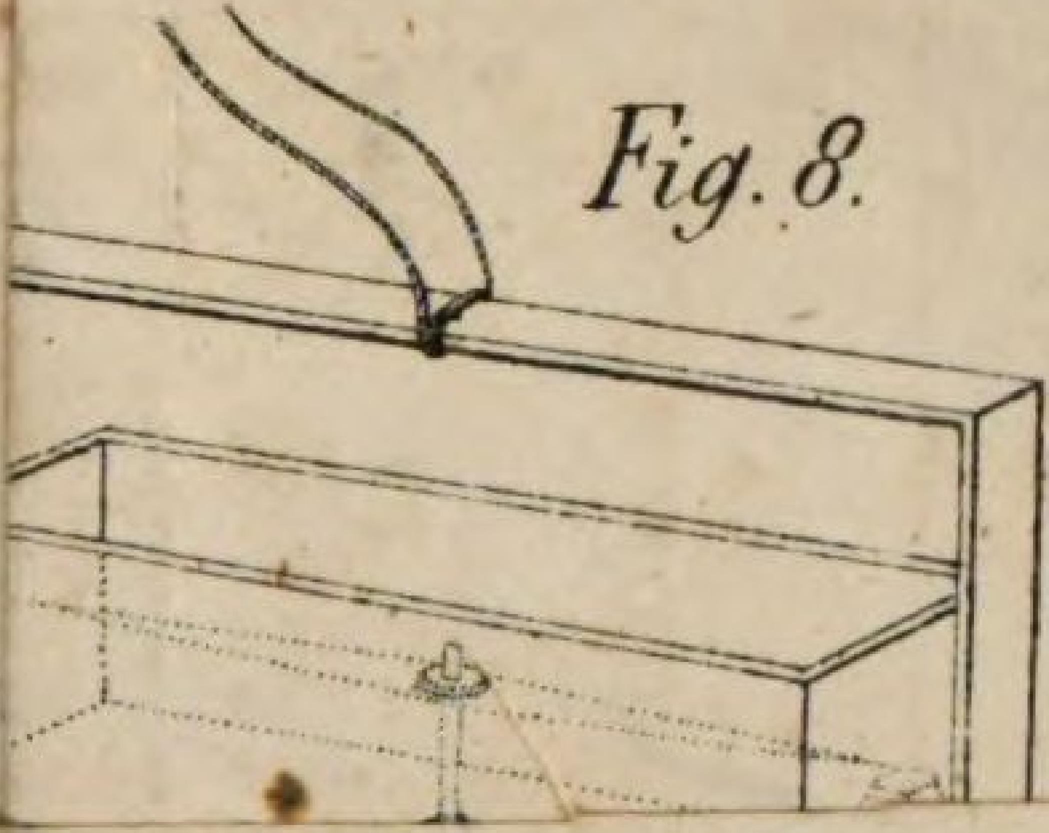


Fig. 8.



Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Becquerel, Antoine César,

Populäre Naturlehre mit besonderer Rücksicht auf die Chemie und verwandten Wissenschaften in neun Theilen

Bd.: 4

Stuttgart (1845)

Phys.g. 35 g-4
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10130711-5